

**EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE
MONTILLA**

THE METAVERSE IN THE TEACHING-LEARNING PROCESS:
THE INTERPRETATION OF THE KEEP OF MONTILLA CASTLE

Tesis Doctoral presentada por
ALEJANDRO MOHEDO GATÓN



VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

TITULO: *EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL
CASTILLO DE MONTILLA*

AUTOR: *Alejandro Mohedo Gatón*

© Edita: UCOPress. 2022
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
ucopress@uco.es



PROGRAMA DE DOCTORADO

INGENIERÍA AGRARIA, ALIMENTARIA, FORESTAL Y DE DESARROLLO RURAL
SOSTENIBLE

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO EN LA INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO

DE INGENIERÍA GRÁFICA Y GEOMÁTICA

TESIS DOCTORAL

**“EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE
MONTILLA”**

**“THE METAVERSE IN THE TEACHING-LEARNING PROCESS:
THE INTERPRETATION OF THE KEEP OF MONTILLA CASTLE”**

Córdoba, abril de 2022, con el Vº Bº de los directores:

Fdo.: Rafael E. Hidalgo Fernández
Dr. Ingeniero Agrónomo

Fdo.: Paula Mª. Triviño Tarradas
Drª. Ingeniero Agrónomo

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS

D. RAFAEL ENRIQUE HIDALGO FERNÁNDEZ

Profesor Contratado Doctor de la Universidad de Córdoba. Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática

DÑA PAULA M^a. TRIVIÑO TARRADAS

Profesora Sustituta Interina Doctora de la Universidad de Córdoba. Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática

INFORMAN:

1. Que D. Alejandro Mohedo Gatón, Ingeniero de la Edificación, ha realizado bajo nuestra dirección su tesis doctoral titulada: *“EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA”*.
2. Que ha seguido con aprovechamiento las actividades propuestas por la Comisión Académica del Programa de Doctorado en Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible.
3. Que la Tesis ha supuesto un extenso trabajo de investigación desarrollado en la práctica docente dentro del proceso de enseñanza aprendizaje. En la misma, el doctorando ha conseguido elaborar una metodología común para trasladar desde unos elementos sencillos de Geometría Descriptiva hasta grandes elementos arquitectónicos del papel al metaverso.
4. Que la investigación realizada ha dado lugar a interesantes aportaciones originales recogidas en diversas publicaciones de impacto, entre ellas se destacan:

1.- “Preliminary results of the impact of 3D-visualization resources in the area of graphic expression on the motivation of university students”

Triviño-Tarradas, P., Mohedo-Gatón, A., Fernández, R. E. H., Mesas-Carrascosa, F.-J., & Carranza-Cañadas, P. (2021). Virtual Reality.

Q1 JCR.

<https://doi.org/10.1007/s10055-021-00606-2>

2.- “Methodology for the Virtualisation of Engineering Drawing Exercises for Use Through Extended Reality”

Triviño-Tarradas P., Mohedo Gatón A., Carranza-Cañadas P., Burgos-Ladrón de Guevara E., Mesas-Carrascosa F.J., Hidalgo Fernandez R.E. (2022) Methodology for the Virtualisation of Engineering Drawing Exercises for Use Through Extended Reality. In: Cavas Martínez F., Peris-Fajarnes G., Morer Camo P., Lengua Lengua I., Defez García B. (eds) Advances in Design Engineering II. INGEGRA 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.

Q4 SCImago Journal & Country Rank

https://doi.org/10.1007/978-3-030-92426-3_49

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 20 de abril de 2022

Firma de los directores:

Fdo.: Rafael E. Hidalgo Fernández

Fdo.: Paula M^a. Triviño Tarradas

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores de tesis, Dr. Rafael Enrique Hidalgo Fernández y Dra. Paula María Triviño Tarradas, sin su apoyo, clasificación y constante ánimo este documento no hubiera visto la luz. Al Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba por creer en mí y suministrar los equipos y recursos especializados de última generación, a pesar de la pandemia, para poder llevar a cabo la fase de experimentación de esta investigación.

Al conjunto de especialistas que me han aportado su grano de arena durante estos más de ocho años de investigación. El cronista oficial de Montilla D. José Rey sin sus primeras entrevistas no se habría sembrado en mí la curiosidad por conocer los entresijos de la construcción del castillo de Montilla. Sus profundos conocimientos en la materia han sido de gran ayuda en este trabajo. Gracias por la buena disposición que ha presentado siempre el Museo Histórico Local de Montilla permitiéndome hacer uso de sus instalaciones y acceder a su fondo documental. El arquitecto Rafael Cabello Montoro, sin tus aportaciones sobre historia de la arquitectura medieval y consejos este trabajo se presentaría incompleto. A José Luque Bellido, por ser mi apoyo y paño de lágrimas digital, tus consejos como especialista en el campo de la infografía han permitido conseguir el nivel de detalle que este trabajo merece. Gracias por compartir desinteresadamente tus equipos, tu tiempo y conocimientos para esta causa.

Gracias a mis padres Miguel y María del Carmen, por enseñarme a seguir siempre mi propio camino, ser constante, cariñoso, respetuoso con los demás y agradecido. Ojalá sepa transmitir a mis hijas lo que vosotros me habéis enseñado. Este trabajo también es vuestro.

A mis cuatro hermanos; Ana, Marivi, Ali y Juan, en todo lo que hago siempre hay un pedacito de vosotros, estoy muy orgulloso de teneros siempre a mi lado. A mis tres mujeres, por ser un apoyo incondicional, sobre todo a mis dos hijas pequeñas. No sois conscientes del cariño que me dais cada día. Vuestra energía le da sentido a todo lo que hago en esta vida. En un futuro, cuando consultéis los metaversos podréis saber que vosotras también formasteis parte de sus inicios. *“Pon la torre ¡Papi!”* exclama Elena muchas noches cuando me ve trabajando.

Dedicatoria

A Rocío, sin tu aliento no habría llegado hasta aquí. Contigo todo es posible.

Resumen

El metaverso o el más allá de la realidad se está introduciendo en nuestro día a día, al igual que en su día lo hizo internet y la tecnología 3G en dispositivos móviles. Hoy, nos encontramos en los albores de una nueva revolución tecnológica que, como suele ocurrir en este nuevo mundo de hipervelocidad, no durará mucho. Dentro de pocos años la gran mayoría de habitantes del planeta estarán habituados a este nuevo mundo sin fronteras físicas, ya que los grandes gigantes tecnológicos (Microsoft, Facebook, -que ya es Meta-, Google, Apple, etc.) están invirtiendo en ello. El concepto en sí no es nada nuevo, aunque sí el enfoque que se da en este trabajo. De hecho, esta tesis doctoral aborda de una manera práctica y útil el conocimiento de lo que hasta ahora ha recibido diversas denominaciones, más técnicas que populares, como Realidad Aumentada, Realidad Virtual o Realidad Mixta, etc. Hasta no hace demasiado tiempo carecía de una designación global. Y ha sido precisamente Zuckerberg quien le ha dado un nombre que trasciende a lo puramente técnico o popular: el ‘metaverso’, un apelativo dirigido directamente a las masas.

En efecto, este trabajo de investigación es un proceso de desarrollo práctico que no pretende descubrir el metaverso al público general sino incorporarlo en los procesos de enseñanza-aprendizaje de grado y posgrado, mediante un prototipo -no catálogo- de ejercicios de inmersión tecnológica que favorezcan la interactividad con el individuo. Así, se tiene el propósito de contribuir en la incorporación de las últimas tecnologías de vanguardia de la realidad virtual 3D, ya sea mixta, aumentada o una combinación de ellas, (metaverso, en una palabra) para mejorar la conexión y la motivación entre el alumnado y su profesorado.

Para lograr nuestro principal objetivo, se parte de unas actividades sencillas de geometría descriptiva en la que los discentes puedan ver la pieza a representar gráficamente interactuando con ella. Pero el fin último es realizar ejercicios de mayor complejidad, en los que confluyan varias competencias curriculares como, el patrimonio cultural, su comprensión y su interactividad con el público general, y más especialmente nuestra herencia ya desaparecida. Singularmente, esta se centra en la arquitectura defensiva medieval, de manera que se tratará de reconstruir una hipótesis de renderización virtual hiperrealista de la torre del homenaje del castillo de Montilla dentro del metaverso. Este trabajo engloba los conceptos de Realidad Aumentada, Mixta y Virtual, y permitirá experimentar un conjunto de percepciones que no se dan con otros sistemas de comunicación tridimensional. Mediante el resultado obtenido se ha podido comprobar cómo la aplicación de esta tecnología mejora notablemente la percepción visual y contribuye al conocimiento científico e histórico. Su aplicación en el aula sería una potente herramienta que facilitaría el proceso de enseñanza aprendizaje.

Summary

The metaverse or the beyond reality is actually entering in our daily lives, just as the Internet and the 3G technology did in mobile devices. Today, we are at the dawn of a new technological revolution that, as it is often the case in this new world of hypervelocity, will not last long. Within a few years, the vast majority of the inhabitants of the planet will be used to this new world without physical borders, as the big technology giants (Microsoft, Facebook, which is no longer Facebook but Meta, Google, Apple, etc.) are investing in it. In fact, this doctoral thesis deals, in a practical and useful way, with knowledge that until now has received various names, more technical than popular, such as Augmented Reality, Virtual Reality or Mixed Reality, among others. It lacked a global designation until not too long ago. It has been precisely Zuckerberg who has given it a name that transcends the purely technical or popular: the 'metaverse', a name addressed directly to the masses.

Indeed, this research is a practical development process that does not intend to discover the metaverse to the general public, but to incorporate it in the teaching-learning processes of undergraduate and graduate through a prototype (not a catalog) of technological immersion exercises that favor interactivity with the individual. Thus, the purpose is to contribute to the incorporation of the latest cutting-edge technologies of 3D virtual reality, whether mixed, augmented or a combination of them, (metaverse, in a word) to improve the connexion and motivation between students and their lecturers.

To achieve the main objective, we start with some simple descriptive geometry activities in which students can interact with the piece, which has been graphically represented. But the ultimate goal is to elaborate more complex exercises, in which several curricular skills converge, such as: cultural heritage, its understanding and its interactivity with the general public, and more especially our heritage that has already disappeared. Singularly, part of this research is focused on the medieval defensive architecture; so that it will try to reconstruct a hyper-realistic virtual rendering hypothesis of the keep of the castle of Montilla within the metaverse. This work encompasses the concepts of Augmented, Mixed and Virtual Reality, and will allow experiencing a set of perceptions that do not occur with other three-dimensional communication systems. Thanks to the obtained result, the application of this technology that significantly improves the visual perception of the viewers and contributes to the scientific and historical knowledge was verified. The application of these technologies in the classroom would be a powerful tool that would facilitate the teaching-learning process.

Índice

CAPÍTULO 1. Introducción y objetivos.....	19
1.1. Introducción	19
1.2. Objetivos	25
1.3. Fases y estructura de la tesis	26
Fase I:.....	26
Fase II:	27
Fase III:	28
Fase IV:.....	29
CAPITULO 2. El metaverso como herramienta en el aula	31
2.1. Introducción	31
2.2. Estado del arte del metaverso	35
2.3. Metodología genérica en el aula	51
2.4. Metodología específica para ejercicios.....	58
2.4.1. Ejercicio inicial	58
2.4.2. Ejercicio avanzado	68
2.5. Metodología específica para elementos patrimoniales	87
2.5.1. Virtualización de pieza de escala museística.	88
2.5.2. Virtualización del Recinto del Castillo de Montilla	100

2.6. Metodología del procedimiento de investigación (instrumento IMMS)	107
2.7. Los dispositivos de Realidad Virtual	108
 CAPITULO 3. Resultados preliminares del impacto de los recursos de visualización 3D en el área de expresión gráfica sobre la motivación de los estudiantes de grado y posgrado	 110
3.1. Estado del arte de la aplicación de la tecnología 3D en el aula	110
3.2. Materiales y métodos	114
3.2.1. Materiales.....	114
3.2.2. Metodología	117
3.3. Resultados	119
3.4. Discusión	130
 CAPITULO 4. La interpretación de la torre del Homenaje del castillo de Montilla.....	 132
4.1. Estado del arte.....	132
4.2. El castillo del Gran Capitán	138
4.3. Arquitectura defensiva en la baja edad media	141
4.4. Los grabados y recursos gráficos históricos del castillo de Montilla	149
4.5. Búsqueda de paralelos arqueológicos.	159
4.5.1. La torre de Belalcázar.	161
4.5.2. La torre Garcí de El Carpio.....	169

4.6. Resultados	174
4.6.1. Los ejercicios de geometría descriptiva.....	174
4.6.2. Los elementos virtualizados mediante fotogrametría	177
4.6.3. Las reconstrucciones virtuales mediante comparación con paralelos	179
4.6.4. Los metaversos.	183
4.7. Conclusiones.....	193
 CAPITULO 5. Referencias bibliográficas.....	 196
5.1. Bibliografía	196
5.2. Entrevistas realizadas.....	216
5.3. Documentos oficiales públicos y/o privados	216
 CAPITULO 6. Apéndices.....	 217
A. Glosario.....	217
B. Listado de programas y equipos de laboratorio	222

Índice de Figuras

Figura 1 Fotograma de la película Ready Player One, 2018	19
Figura 2 Geometría descriptiva de Fernando Izquierdo Asensi para alumnos que se inician en la materia de grado de Ingeniería y Arquitectura.....	31
Figura 3 Sistema diédrico: representación de punto, recta y plano en el espacio (a). Sistema axonométrico: cubo o hexaedro (b)	32
Figura 4 Proyecciones de una pieza compleja en sistema diédrico: alzado, planta y perfil	33
Figura 5 Quemaperfumes preexistente (a) y (b) y su réplica virtual en el metaverso (c)	34
Figura 6 Resultados de Stanley Brusse: Bertrand Benoit, sala Labrouste (a) y la iglesia sobre el agua de Tadao Ando (b)	35
Figura 7 Representación simplificada del Continuo de Virtualidad, tal como lo imaginan Paul y sus compañeros, puesto en relación con su gradiente de conocimiento posible de la realidad	36
Figura 8 Realidad mediada con implementaciones para la vida cotidiana	37
Figura 9 Ánfora con el rapto de Casandra.....	38
Figura 10 The Rosetta Stone, The British Museum	38
Figura 11 Repositorio de objetos digitalizados	39
Figura 12 Ejemplo de código QR.	40
Figura 13 Caso de imagen aumentada.....	41
Figura 14 Esquema de rastreo de movimiento	42

Figura 15 Esquema de rastreo de condiciones de iluminación ambiental.....	42
Figura 16 Ejemplo de fusión de objeto real y virtual	43
Figura 17 Ejemplo de inmersión en un metaverso	43
Figura 18 Ejemplo de tres grados de libertad, 3DoF, (a) y seis grados de libertad, 6DoF (b)	44
Figura 19 Modelo de gafas Oculus Quest2 de Meta	45
Figura 20 Modelos de gafas Oculus Rift S y Oculus Quest respectivamente	46
Figura 21 Esquema de la fotogrametría SfM.....	48
Figura 22 Esquema de la restitución de puntos homólogos	49
Figura 23 Ejemplo de esfera de captura mediante técnica de fotogrametría arquitectónica	50
Figura 24 Muestra de la biblioteca en línea de los ejercicios de “Dibujo de Ingeniería” del departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática	52
Figura 25 Ejercicio ejemplo del sistema diédrico	53
Figura 26 Representación de un punto cualquiera en el diedro (a) y abatimiento de los planos de proyección con las proyecciones del punto (b).....	58
Figura 27 (a) Representación de una recta R perpendicular al plano de proyección vertical, en el primer diedro y (b) abatimiento de los planos principales con las proyecciones de dicha recta r' , r y r''	59
Figura 28 (a) Representación de un plano P oblicuo cualquiera con una recta R que pertenece al mismo en el diedro y (b) abatimiento de los planos principales con las proyecciones de dicho plano y dicha recta.....	60

Figura 29 Ajustes de importación de CAD a 3DS Max: escalado y soldado de vértices (a), asignación de grosor Radial (b), asignación de grosor Rectangular (c)	61
Figura 30 Vista del ejercicio en bruto al importarla en 3DS Max.....	62
Figura 31 Aplicación web Adobe Color.....	63
Figura 32 Ejemplo de asignación de material (color) a la capa letras que se incluye en nuestro modelo y aplicación del modificador Edit Poly para homogeneizar sus vértices	64
Figura 33 Ventana de exportación del modelo a formato .OBJ con las opciones.....	65
Figura 34 Entorno web de Sketchfab a través de la cuenta de la UCO.....	66
Figura 35 Orientación de la geometría y ajustes generales en Sketchfab	67
Figura 36 Ajustes, dentro de la aplicación, de la escala real.....	67
Figura 37 Enunciado gráfico (a) y solución realizada en papel en del ejercicio de Sistema Diédrico propuesto para virtualizarlo en el metaverso (b)	68
Figura 38 Geometría por construir dentro de Sketchup	69
Figura 39 Denominamos cada grupo de geometrías y le asignamos una capa con diferente color	70
Figura 40 El modelo se importa al software de modelado y texturizado 3DS Max.....	71
Figura 41 Edición de la polilínea para soldar todos los vértices	72
Figura 42 Momento en el que se le da mayor entidad visual (espesor radial) a una capa....	73
Figura 43 Momento en el que se le da mayor entidad visual a una capa de líneas discontinuas	74
Figura 44 Configuración para nuestro ejercicio de Dased Light Generator o DLG.....	75
Figura 45 Asignación de color a un objeto aislado	76

Figura 46 Formato de intercambio FBX	78
Figura 47 Vista de acceso a la plataforma Skechfab mediante registro de cuenta “PRO”...	79
Figura 48 Repositorio de ejercicios dentro de la cuenta del Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba en Skechfab	80
Figura 49 Configuración general del repositorio dentro de la cuenta del Departamento en Skechfab	81
Figura 50 Reconfiguración en Sketchfab, de izquierda a derecha: (a) iluminación, (b) asignación de materiales, (c) posproducción y (d) anotaciones	82
Figura 51 Previsualización en Sketchfab: escalado de Realidad Virtual y Realidad Aumentada.....	84
Figura 52 Ejercicio de geometría descriptiva en el metaverso preparado para compartir con el alumnado	85
Figura 53 Código en línea para integrar el modelo vía web.....	86
Figura 54 Quemaperfumes medieval visto desde distintos ángulos. Tomas fotográficas tomadas en el propio laboratorio del museo.....	88
Figura 55 Soporte giratorio automatizado sobre una base estable de madera.....	92
Figura 56 Cada una de las fotografías del Quemaperfumes cargadas Adobe Lightroom para equilibrar las imágenes	93
Figura 57 Alineación y ajuste de las fotografías tomadas en Reality Capture. En la imagen se pueden apreciar los diferentes “bucles fotográficos de captura” BC	94
Figura 58 Detalle de una zona de malla poligonal con alta resolución. Nótese la aparición de la simbología de la tronera.....	96

Figura 59 Detalle de los diferentes mapas de textura. Vista 2D de las texturas procesadas: albeldo (a) y de relieve (b).....	97
Figura 60 Detalle de los diferentes mapas de textura.....	98
Figura 61 Una de las ortofotos rectificadas generadas por el programa junto con escala gráfica	99
Figura 62 Elaboración del plan de vuelo realizada junto con especialista. Se muestran los puntos de estacionamiento de vuelo y estudio de soleamiento	101
Figura 63 Estacionamiento del equipo especializado para realizar la toma y vuelo	102
Figura 64 Evolución del proceso llevado a cabo en gabinete para la producción del conjunto	103
Figura 65 Requisitos mínimos y recomendados para PC ligado a Oculus Rift S	108
Figura 66 Entorno de trabajo de Twinmotion para visores RV.....	109
Figura 67 Ejemplo de un ejercicio resuelto sobre el sistema de proyecciones diédricas. (a) Enunciado gráfico del ejercicio, (b)Solución del ejercicio 2D en papel, y (c) captura de pantalla de la visualización 3D obtenida con la computadora.....	115
Figura 68 Ejemplo de un ejercicio de proyección axonométrica. (a) Solución gráfica de ejercicios en papel 2D, (b) visualización del ejercicio con Realidad Aumentada, y (c) captura de pantalla de la visualización 3D con Realidad Virtual obtenida con el ordenador	116
Figura 69 Estudiantes de máster experimentando la realidad virtual visualizando representaciones 3D con las gafas	117
Figura 70 Puntuaciones medias y desviaciones estándar del factor de “atención”	122
Figura 71 Puntuaciones medias y desviaciones estándar del factor de “relevancia”	123

Figura 72 Puntuaciones medias y desviaciones estándar del factor de “confianza”	124
Figura 73 Puntuaciones medias y desviaciones estándar de la subescala de “satisfacción”	125
Figura 74 Percepción de los estudiantes de cada dispositivo de visualización 3D	128
Figura 75 Preferencias de los estudiantes sobre el momento óptimo para la visualización de los ejercicios 3D	128
Figura 76 Desglose de las preferencias de los estudiantes sobre el momento óptimo para visualizar los ejercicios 3D por tipo de estudiante	129
Figura 77 Evaluación de los estudiantes de cada dispositivo de visualización 3D. Nota: Que las gafas no se utilizaron para el grado de Ingeniería Electrónica.....	131
Figura 78 Resultados de la tesis de Jesús Estepa Rubio: esquema gráfico del espacio interior de la iglesia sobre fotografía de las ruinas existentes (a) y recreación virtual del mismo (b)	137
Figura 79 Grabado del Castillo de Montilla	151
Figura 80 Copias del dibujo de fray Francisco Espejo: dibujo (a) y dibujo anónimo de 1854 (b)	152
Figura 81 Continuación de dibujo anónimo de finales del XVIII sin fecha datada (a y b) .	153
Figura 82 Vista de Montilla en acuarela.....	153
Figura 83 Vista parcial del grabado de Montilla de Pier María Baldi remarcando la silueta del castillo del Gran Capitán	154
Figura 84 Planos del proyecto del arquitecto J. A. Camacho para construcción del Alhorí a inicios del siglo XVIII	155

Figura 85 Vista oriental de Montilla	157
Figura 86 Dibujo del historiador	158
Figura 87 Montilla desde Espejo, técnica de plumilla.....	158
Figura 88 La torre Garci Méndez (a) y castillo de Belalcázar (b).....	159
Figura 89 Sección constructiva del Proyecto de Ejecución de Consolidación y puesta en valor del recinto amurallado y castillo de Belalcázar	161
Figura 90 Colosal torre del Homenaje del castillo de Belalcázar.....	163
Figura 91 Visita de estudio. Estado de deterioro y ruina del castillo de Belalcázar	164
Figura 92 Fotografía de la reunión previa a la visita del enclave arqueológico con los responsables.....	165
Figura 93 Fotografía del lienzo de muralla del castillo de Belalcázar	166
Figura 94 Fotografía en el arranque de acceso a la torre del Homenaje del castillo de Belalcázar	166
Figura 95 Fotografía interior de las arquerías y cúpula del castillo de Belalcázar.....	167
Figura 96 Fotografía del peldañado interior de la escalera de caracol del castillo de Belalcázar	168
Figura 97 Diferentes vistas de la torre Garci Méndez de El Carpio.....	169
Figura 98 Planimetría de la torre Garci Méndez de El Carpio: planta primera (a), planta segunda (b) y sección constructiva (c)	171
Figura 99 Fotografía interior de las saeteras de la torre Garci Méndez	172
Figura 100 Fotografías interiores de la rampa de la torre Garci Méndez a, b, c y d	173
Figura 101 Vista de ejercicio sencillo de la asignatura de Geometría Descriptiva	174

Figura 102 Vista de ejercicio complejo de la asignatura de Geometría Descriptiva.....	175
Figura 103 Catálogo de usuario en Skechfab (@dibujo_etsiam_1)	175
Figura 104 Quemaperfumes en el metaverso	177
Figura 105 Base de arranque de arco en el metaverso	178
Figura 106 Recinto amurallado del castillo de Montilla en el metaverso	178
Figura 107 Réplica virtual de saetera y tronera en el metaverso.....	179
Figura 108 Réplica del módulo sintetizado de la rampa de la torre Garci Méndez, base de modelado de la rampa a través de la unión de módulos en el metaverso	180
Figura 109 Replica virtual de estructura de arquería con todos sus elementos constructivos que resuelve las diferentes plantas en el metaverso	180
Figura 110 Modelado del sistema de comunicación vertical completo con la piel de la torre y perforaciones para las troneras en el metaverso	181
Figura 111 Composición de cada una de las piezas para conformar el modelo virtual de la torre del Homenaje del castillo de Montilla	182
Figura 112 Vista general de acceso a la exposición	184
Figura 113 Detalle de quemaperfumes.....	184
Figura 114 Vista del panel expositivo	185
Figura 115 Detalle de tronera	185
Figura 116 Detalle de saetera	186
Figura 117 Detalles de formación de arquería.....	186
Figura 118 Módulos de comunicación vertical	187
Figura 119 Vista general del patio.....	187

Figura 120 Vista aérea en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad	188
Figura 121 Vista norte en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad	189
Figura 122 Vista general en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualida	189
Figura 123 Vista a pie de terreno en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad.....	190
Figura 124 Vista aérea desde el norte en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad	190
Figura 125 Vista este en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad	191
Figura 126 Vista principal en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad.....	191
Figura 127 Vista aérea desde el sur en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad.....	192

Índice de Tablas

Tabla 1 Tiempos dedicados a las diferentes tareas para la producción del modelo	89
Tabla 2 Tiempos dedicados a las diferentes tareas para la producción del recinto	100
Tabla 3 Índice de confiabilidad del instrumento de la Encuesta de Motivación de Materiales De Instrucción (IMMS)	119
Tabla 4 Descripción de la muestra.....	120
Tabla 5 Estadística descriptiva para los cuatro factores (atención, relevancia, confianza y satisfacción).....	121
Tabla 6 Estadística descriptiva sobre la utilidad del recurso 3D	126
Tabla 7 Estadísticas descriptivas sobre la idoneidad de los dispositivos para visualizar los ejercicios 3D	127

Índice de Apéndices

A. Glosario

B. Listado de programas y equipos de laboratorio

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

CAPÍTULO 1. Introducción y objetivos

1.1. Introducción

“No estamos limitados por la tecnología, sino por nuestras ideas, la experimentación y lo rápido que probamos las cosas” (Tim Sweeney, 2021)

En efecto, como asevera Sweeney (programador informático estadounidense y fundador de Epic Games, empresa reconocida principalmente por sus trabajos con Unreal Engine), en la actualidad se dispone de la tecnología para que evolucione internet a un nuevo ente al que se dejará de acceder a través de las pantallas planas hoy siempre omnipresentes; en su lugar se sustituirá por un nuevo mundo tridimensional en el que la frontera entre físico y digital desaparezca. Hasta hace poco parecía ciencia ficción, sin embargo, se está construyendo de una manera tan acelerada que, si no se defiende pronto esta tesis doctoral, se puede quedar obsoleta, desfasada y desactualizada. De hecho, Facebook, que pasó a llamarse Meta desde el último evento virtual *Facebook Connect 2021* (9 de noviembre de 2021), anunció que pretende liderar esta transición tecnológica. Sin más preámbulo, bienvenidos al metaverso.

Figura 1

Fotograma de la película (Fuente: Ready Player One, 2018¹).



¹ Los titulo de las Figuras en este trabajo se presentan conforme las Normas APA. Sánchez, C. (10 de mayo de 2020). ¿Cómo citar una Imagen o Fotografía? Normas APA (7ma edición). <https://normas-apa.org/referencias/citar-imagen-o-fotografia/>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

Podría sonar a ciencia ficción, pero nada más lejos de la realidad, los C-Suites de las empresas más importantes de Silicon Valley están planeando, en un horizonte a pocos años vista, una revolución tecnológica en la que el mundo digital y el físico se entrelacen en una nueva realidad que abarque todo el espacio y que permita coexistir e interactuar, en cualquier momento y en cualquier lugar (Kye et al., 2021). Eso es el “*metaverso*”, cuyo concepto no es nuevo, sino que surgió mucho antes que, incluso, el correo electrónico popularmente conocido como *email*. En efecto, fue el escritor americano Neal Stephenson quien utilizó el término en su novela *Snow Crash* en 1992; también en el cine hemos vivido experiencias similares con Keanu Reeves en la trilogía *The Matrix* (1999) o Di Caprio en *Origen* (2010), si bien el término “*metaverso*” no es empleado en ellas, el concepto de realidades paralelas sin leyes físicas ni fronteras es el que nos ocupa en esta tesis doctoral. En cambio, sí es reconocible la palabra en *Ready Player One*, película de Steven Spielberg (2018), donde los personajes acceden a otro mundo a través de unas gafas tecnológicas a las que no podríamos acceder hasta 2045 (año en el que nos sitúa la película). En definitiva, este futuro metaverso no será solo una realidad virtual o mundo virtual paralelo, ni una economía, ni un parque o espacio temático ni, por supuesto, tan sólo un juego al que acceden unos pocos “*freakies*”. No, el metaverso es más que eso porque incluirá infinitud de “no lugares” temáticos, que se integrarán en una experiencia cohesiva y colectiva, que no solo servirá a una necesidad humana o fin social, sino a todos en su conjunto.

En plano técnico y científico, relevante en esta investigación, el metaverso es una palabra que engloba a un conjunto de tecnologías preexistentes. En realidad, no se ha inventado nada extraordinariamente novedoso. La novedad consiste en denominar a una amplia gama de soluciones tecnológicas, dispositivos y redes, cuyos nombres eran conceptos bastante abstractos, con un sustantivo que cualquier persona entienda. Es más que probable que casi la mitad de la población nunca llegue a comprender la multitud de tecnologías y procesos que engloba este término, pero en última instancia lo consuma y lo disfrute igualmente. Algo parecido vivimos a finales del siglo XX cuando surgen las primeras redes de línea telefónica conmutada como, ARPANET, protocolos TCP/IP, NFSNET, red en árbol, World Wide Web... que todo el mundo andaba algo perdido, hasta que alguien lo bautizó como “internet” y la respuesta unánime fue: “¡ah, internet!”. Pues ídem con el metaverso y toda la tecnología que engloba este concepto.

Así pues, debido a la numerosa cantidad de innovaciones tecnológicas que presentan las actuales gafas inteligentes, dispositivos móviles, motores de videojuegos o las aplicaciones web, resulta de vital importancia distinguir entre las diferentes realidades que abarcan el amplio espectro que existe entre realidad y virtualidad, “*virtuality continuum*” (Milgram P. & Kishino F. A., 1994). Conceptos como la “*Augmented Reality*” (AR), la “*Virtual Reality*” (VR), la “*Mixed Reality*” (MR) o “*Extended Reality*” (XR) y la “*Diminished Reality*” (DR) - y otras futuras realidades que van a llegar, y requieren una adecuada definición.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

Estas realidades se están integrando en la educación universitaria, y en concreto en los Grados de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural, de Ingeniería Forestal y de Ingeniería Electrónica Industrial de la Universidad de Córdoba. De manera, que una de las ventajas que presenta enseñar nuestros contenidos en el aula es la sensación de asombro cuando el alumnado consigue integrar los ejercicios en su visión espacial, y comprende cómo se representa en dos dimensiones un espacio tridimensional. Esos futuros profesionales van desarrollando su visión espacial a medida que avanzamos en la complejidad de los ejercicios.

No obstante, cursos como este y el pasado donde el sistema educativo se ha replanteado la manera de enseñar, y las aulas se han vaciado de alumnos, este tipo de tecnologías cobran especial importancia. Han sido un elemento esencial para poder trasladar los contenidos de la materia de “Dibujo de Ingeniería” y “Sistemas de Representación” en los grados anteriormente citados a los diferentes domicilios de los estudiantes. En este contexto, se ha necesitado una nueva forma de compartir los ejercicios, para que el alumnado pudiera profundizar en la asignatura, con mejoras en cuanto a la experiencia de visualización espacial. La formación a distancia es un método de trabajo que elimina las limitaciones de ubicación geográfica de los implicados (Kadner, 2021).

La Realidad Mixta tiene un marcado carácter multidisciplinar que conecta ámbitos complementarios como son el sector educativo y la ingeniería (Alvarez-Marin et al., 2017). En la actualidad existen numerosas aplicaciones que conviven con algún tipo de tecnología vinculada a este concepto. En esta investigación se pretende poner en valor la aplicación de estas innovaciones tecnológicas en el ámbito de la educación universitaria, e identificar la metodología empleada para la virtualización de ejercicios de dibujo de ingeniería, de ahí extrapolarla a cualquier ejemplo de mayor complicación visual.

No obstante, aunque este campo de investigación se inicia con ejercicios básicos de dibujo técnico para ingenieros, esta tesis doctoral pretende dar un paso más hacia actividades intercompetenciales de interacción entre el alumno, o cualquier otra persona interesada, y el patrimonio arquitectónico, paisajístico y cultural heredados. En efecto, en los últimos tiempos, diferentes tecnologías del ámbito de la geomática y la representación tridimensional se han situado al alcance de los investigadores, haciendo posible que con técnicas de menor presupuesto se puedan conseguir estándares de calidad avanzados para la documentación geométrica del patrimonio cultural. En esta investigación se plantea la utilización de diversas técnicas para la reconstrucción virtual de elementos arquitectónicos que faciliten la integración con la realidad existente para facilitar su correcta interpretación, contextualización y difusión, pero sin olvidar su elevado potencial pedagógico.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

Hoy en día, gracias a la Realidad Mixta o Realidad Extendida, que es una combinación de lo que entendemos por Realidad Virtual y Realidad Aumentada, es posible realizar modelos tridimensionales de alta calidad geométrica y visual mediante reconstrucción 3D y fotogrametría, obteniendo muy buenos resultados, siendo una herramienta fundamental para la documentación, el análisis y la difusión del patrimonio (Yastikli, 2007). Pero sus numerosas aplicaciones requieren de un procedimiento riguroso de carácter interdisciplinar (profesionales de la arquitectura e ingeniería, documentalistas, pedagogos, historiadores...), que garantice la calidad de los resultados. De esta manera, las herramientas con las que se trabaja en las disciplinas de la ingeniería gráfica permiten representar de una manera hiperrealista aspectos históricos-artísticos de un lugar en una época de su historia pasada.

En realidad, el motivo inicial de este trabajo se debe principalmente a la fusión de dos de mis pasiones: la vivencia del pasado a través del patrimonio arqueológico, arquitectónico y cultural (en especial la arquitectura defensiva del medievo); y la expresión gráfico-virtual de la arquitectura, el urbanismo y el territorio a través del uso de la geometría descriptiva, el dibujo técnico, la fotogrametría, la informática y la tecnología. Posteriormente, mientras la investigación se iba desarrollando, entendí que las realidades educativas actuales implicaban la necesidad del conocimiento de terminologías recientes como la AR, la VR, la MR o XR y la DR - y otras futuras realidades que, sin duda, van a llegar. Este conjunto de realidades requiere una adecuada definición para poder comprender cuál es el futuro que se espera de su aplicación en la docencia (Future Today Institute, 2021). De hecho, el rápido e inesperado cambio en la enseñanza on-line, que se ha producido a lo largo de estos dos últimos años debido a la pandemia COVID-19, ha obligado al profesorado de expresión gráfica a adaptar los procedimientos incorporando las nuevas tecnologías a su labor docente.

En cuanto a la expresión gráfica de los hitos arquitectónicos e históricos, la incorporación de las TIC ha hecho evolucionar el campo de la interpretación, visualización y comprensión de los contenidos (desde las dos dimensiones principalmente, salvo maquetas físicas de costosa fabricación), al campo de la interactividad.

Entre la arqueología y el usuario final se crea un espacio tridimensional en el que se funde la realidad conocida y la Realidad Virtual, fenómeno que podemos denominar como Realidad Mixta, la cual se detallará más a lo largo de esta tesis. Así, desde los conocimientos de la ingeniería gráfica se pueden obtener resultados en el tratamiento de la información del patrimonio arquitectónico con el fin de su puesta en valor, con el apoyo de las administraciones públicas, para su difusión y llegar al público en general.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

De este modo, tanta importancia tiene llegar al público, como la calidad y la veracidad del contenido que se genera para su interactividad virtual. Cabe destacar los peligros y las posibles trampas de la Realidad Mixta en la manipulación del conocimiento colectivo medio, en la fabricación de “*fake news*”, su rápida propagación a través de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación. Es por ello relevante saber diferenciar entre ciencia-ficción y ciencia empírico-documentada. Por este motivo, antes de elaborar cualquier creación tridimensional virtual, se debe realizar un riguroso proceso de investigación documental en todas las ramas del conocimiento, que recoja todas las hipótesis del estado del bien patrimonial objeto de estudio con relación al momento histórico concreto que se pretenda representar. Es de sumo interés para esta investigación realizar una correcta articulación metodológica, entre el proceso de la recopilación de la información del bien elegido sobre arquitectura defensiva medieval y el tratamiento de los datos para su reconstrucción. Con el fin de hallar una correspondencia lo más biunívoca posible entre las fuentes, arqueológicas y escritas, y el estado de conservación del patrimonio heredado. Por tanto, el desarrollo de la tesis contemplará de forma indicativa los aspectos de la titularidad, evolución histórica, las técnicas constructivas, el comportamiento estructural, las alteraciones y la relación entre edificio y su entorno.

Asimismo, adquiere especial relevancia la idea que la sociedad puede llegar a alcanzar a través de la Realidad Mixta, pues, no sólo es sumamente importante el qué, y el cómo se cuenta una historia (lo más fidedigna posible como se ha argumentado anteriormente), sino el qué se entiende de ella, es decir, a qué conclusiones o sensaciones se quedan en el subconsciente o en el conocimiento de la mayoría de las personas que consumen este novedoso recurso. No obstante, en esta tesis se recogerá un estudio estadístico real entre una muestra heterogénea y aleatoria de adolescentes universitarios, ya que, en principio, el fin de esta tesis crear un limitado catálogo de ejercicios para su futuro diseño y estudio pedagógico. Además, el uso didáctico de este tipo de recursos de las “*Tecnologías de la Información y la Comunicación*” (TIC) aplicados en el conocimiento de nuestro entorno físico, tanto natural como urbanizado, es una de las utilidades que persigue este trabajo de investigación para todos los niveles de la docencia, especialmente a nivel universitario.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

Se pretende dar un paso más en la conexión del mundo académico y el virtual. Centrándonos en el patrimonio cultural sobre arquitectura militar y defensiva del medievo. Elegimos un elemento singular de esta materia para integrar en nuestro metaverso, el castillo del Gran Capitán ubicado en la localidad de Montilla, de la provincia de Córdoba.

Siendo este un claro candidato para experimentar nuestra teoría, ya que, al mismo tiempo de hallarse en una localización próxima a nuestro entorno, perteneció a un personaje histórico (precisamente montillano de origen) de gran trascendencia y relevancia histórica nacional e internacional. No obstante, en cuanto al momento histórico, se ha elegido una etapa de transición entre la Edad Media y la Moderna, donde la situación de España durante la baja Edad Media, sobre todo, está influenciada por las continuas guerras que supusieron el largo período de la Reconquista (Fitz, 2009).

Otro de los motivos que decanta la designación de este hito arquitectónico e histórico es que el castillo de Montilla se encuentra prácticamente desaparecido en su totalidad (la construcción actual, aun siendo histórica, no se corresponde con el existente en vida de D. Gonzalo Fernández de Córdoba y Enríquez de Aguilar²). De hecho, aún hoy existen controversias entre los más distinguidos expertos en definir cómo fueron los elementos más singulares de este castillo. En concreto, se puede indicar que persiste un debate en ubicar con exactitud dentro del perímetro del edificio, la torre del Homenaje, elemento característico y singular de este tipo de edificaciones militares medievales, así como de concretar su posible aspecto y fisonomía. Por ello, la citada torre se convierte en el foco central patrimonial y principal tanto de mi trabajo de investigación como de su integración en el metaverso.

Por tanto, cabe señalar que esta tesis doctoral no pretende primar ninguna hipótesis de partida sobre dicha torre. Por el contrario, una vez estudiados todos los puntos de vista existentes sobre la misma, esta tesis procura elegir la propuesta más plausible o, en su caso, fusionar las principales ideas de cada una de ellas (siempre y cuando sea viable dicha fusión de conceptos); por supuesto con el aval y respaldo de un exhaustivo estudio, que abarque las disciplinas que impliquen todas las posturas enfrentadas, en especial los campos de la historia, la arquitectura, la arqueología, y la investigación científica y documental.

“La soberbia torre del siglo XV, almenada, coronada con matacanes y garitones, se erigía como un extraordinario símbolo de poder de la Casa de Aguilar, lo que probablemente, en la represalia de 1508, la condenó a su desmoche”, (Rey García, 2017).

² Nombre completo del Gran Capitán, llamado con este pseudónimo por su excelencia en la guerra. En su honor, el tercio de la Legión Española acuartelado en Melilla lleva su nombre. También fue caballero y comendador de la Orden de Santiago.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.2. Objetivos

El objetivo general de la tesis doctoral es diseñar una metodología para la integración de las nuevas tecnologías 3D del metaverso en la docencia (grado y posgrado principalmente, pero con la capacidad de ser extensible a todas las etapas y áreas), mediante el desarrollo de actividades competenciales en Dibujo Técnico avanzado y aplicado a la expresión gráfica del patrimonio cultural desde la visión de la ingeniería.

Para conseguir este propósito, se han fijado los siguientes objetivos específicos:

1º. Hacer un uso pedagógico del metaverso, aplicado, por un lado, en el conocimiento del Dibujo Técnico en ingeniería, y por otro (sin perder el punto de vista de la expresión gráfica del ingeniero), del entorno físico de nuestro patrimonio, tanto edificado como paisajístico.

2º. Aplicar el metaverso para que el usuario (alumnado y cualquier otro agente interesado) interactúe con los modelos generados.

3º. Evaluar la respuesta del alumnado, principalmente, y del público en general ante las actividades y experiencias propuestas en el metaverso, especialmente el grado de atención, relevancia, confianza y satisfacción de los conceptos y desarrollo de las competencias clave e interdisciplinarias en educación.

4º. Interpretar, de manera científica, el patrimonio heredado de la torre del Homenaje del castillo del Gran Capitán de Montilla.

5º. Poner en valor las actividades y los metaversos creados, bien sea actividades básicas como otras más complejas sobre el patrimonio.

6º. Establecer o esbozar una línea programática a seguir para diseñar actividades y experiencias que consideren el metaverso como una herramienta principal.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.3. Fases y estructura de la tesis

La tesis ha pasado por cuatro fases diferenciadas con una evolución constante y progresiva que ha ido alcanzando los objetivos propuestos, los cuales, aunque han continuado esenciales en origen, se han ido modificando, transformando y adaptando en aras de una mejora integral, tanto cualitativa como cuantitativa.

El conjunto presentado es amplio y heterogéneo, recoge múltiples disciplinas y avances tecnológicos que evolucionan de manera exponencial y obliga al investigador a permanecer en constante actualización para mantenerse al día.

Fase I:

La investigación se centró en la aplicación del metaverso en la recuperación del patrimonio arquitectónico y arqueológico. Si bien, el término metaverso no se acuñó como tal desde el inicio, por tratarse de una terminología reciente aplicada a todas las técnicas de Realidad Virtual (RV), Realidad Aumentada (RA), Realidad Mixta (RM) y Realidad Disminuida (RD).

Aunque en un inicio, la aplicación de estas técnicas al patrimonio se entendía desde un punto de vista de recuperación y rehabilitación patrimonial e historicista, paulatinamente, la investigación evolucionó hacia la interpretación de ese patrimonio. Por tanto, en interpretación virtual hay que tomar decisiones en función del grado de precisión que se desea alcanzar, lo cual no implica ni da derecho a inventar. En realidad, no tendría nada de perverso crear un metaverso alejado de la realidad, siempre y cuando el autor de este sea sincero, y así lo ponga de manifiesto para sus usuarios. Por tanto, todas las decisiones que se han tomado para elaborar este trabajo de investigación son fruto del estudio y documentación de las distintas fuentes bibliográficas expuestas en el estado del arte, de la ayuda y entrevista a profesionales de distintas disciplinas a las que se le ha pedido su postura, y de visitas in situ a distintos monumentos, yacimientos e hitos patrimoniales que se han estimado de interés para el desarrollo de esta investigación.

Por un lado, se ha realizado una búsqueda y recogida de datos, tabulación, ordenación, análisis, elección de los más relevantes (torres, ubicación, murallas, elementos defensivos, entorno, etcétera...), y clasificación. Visitando entre otros los castillos de Almodóvar del Río, la torre Garcí de El Carpio y la torre de Belalcázar (para lo cual hubo que pedir los pertinentes permisos administrativos). Las visitas in situ a las ruinas del castillo del Gran Capitán en Montilla fueron muy numerosas y necesarias, además cabe destacar que se contó con la ayuda del arqueólogo Raimundo Ortiz Urbano. Asimismo, fue muy interesante, la aportación del cronista oficial de Montilla José Rey García sobre el citado castillo.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

Fase II:

Tras un análisis descriptivo y comparativo: elección de estrategias de diagnóstico; se han identificado y agrupado afirmaciones, encajándolas en planos, o tablas y mapas conceptuales; comparando datos con las distintas tipologías de castillos medievales y con distintas versiones que ofrecen los autores mencionados en fase I. Llega el momento de levantar el modelo tridimensional y de crear nuestro metaverso con ensayos propios y personales antes de exponerlos al público. Se podría afirmar que esta es la parte más ardua y costosa de todo este trabajo de investigación, pero al mismo tiempo se trata de la más importante y apasionante porque va a dar lugar al producto final de esta tesis, siendo por tanto esencial y relevante la dedicación y el tiempo dedicados a la misma.

En cuanto al proceso de producción virtual de nuestro metaverso, se expone de forma general en el apartado correspondiente de la metodología, no obstante, a lo largo de capítulos posteriores se irá profundizando en la creación de los metaversos propuestos para esta tesis doctoral.

No obstante, la difusión del trabajo ha sido importante a lo largo del desarrollo de esta investigación. Además de las publicaciones que se han elaborado en el seno del Departamento de Expresión Gráfica de la Universidad de Córdoba junto con mis directores de tesis, se ha tenido la oportunidad de contrastar estos primeros productos, de tipo más patrimonial, con los profesionales citados de Montilla, los cuales ofrecieron la oportunidad de exponer en dicha localidad los resultados obtenidos hasta el momento.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

Fase III:

Esta etapa alude a la necesidad de hacer pasar el metaverso propuesto por una muestra real en el aula que permita obtener resultados preliminares. Para ello, en acuerdo y colaboración con los directores de esta tesis, se toma la decisión de probar el metaverso con diferentes alumnos de grado matriculados en la materia de Dibujo Técnico impartida en los mismos.

Con esa intención, se adapta el metaverso a unos primeros ejercicios o experiencias reales más íntimamente ligadas a los conceptos propios de expresión gráfica, a los que los alumnos se enfrentan durante el momento de la investigación. Para ello, se realizan una serie de actividades docentes en el metaverso, que pasarán a detallarse en el siguiente capítulo, habilitándose los dispositivos de RV disponibles en el departamento para que los alumnos se sumerjan en esa experiencia virtual y tridimensional.

Por tanto, desde esta fase, el trabajo de investigación da un salto evolutivo hacia ese objetivo planteado al inicio de este subcapítulo: la aplicación de los metaversos en la docencia y la práctica en el aula. De manera que todos los productos anteriores han evolucionado, sin perder de vista ideas originales y esenciales para esta tesis, hacia una metodología que contribuya a la introducción e integración en la docencia de las nuevas tecnologías 3D mediante el desarrollo de actividades aplicadas.

Los resultados de la aplicación de esta tercera fase han culminado en la publicación en la revista “Virtual Reality”, indexada en el Journal Citation Report dentro del primer cuartil (incluida en el capítulo III de esta tesis doctoral).

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

Fase IV:

Esta fase incluye la investigación, desarrollando y avanzado en los productos virtuales y metaversos expuestos para presentar esta tesis doctoral y obtener unas conclusiones extrapoladas del proceso expuesto. Posteriores estudios sobre experiencias con público real complementan en los mundos propuestos y esbozados en este trabajo de investigación, la metodología desarrollada a lo largo de todas las fases previas y que, como se comprobará en el capítulo final de conclusiones, se considera validada a la vista de los resultados obtenidos.

Es relevante este último apartado para justificar brevemente el índice de esta tesis doctoral, que, en cierta manera, se ha hecho corresponder tanto con el orden argumental y justificativo expuesto en este documento. El desarrollo y la evolución que ha tenido la investigación durante las distintas fases se incluye de manera expositiva de manera que favorezca la comprensión de este texto científico-técnico.

Ha sido necesario conocer el estado del arte de tres bloques temáticos, si bien, en cierta manera, cada uno de ellos podría ser la fusión de los otros: un primer bloque abordaría el estado de la cuestión de las nuevas tecnologías de la comunicación y la información, internet, la ingeniería gráfica e informática, el modelado tridimensional virtual, aumentada y mixta, en una palabra: el metaverso. El segundo bloque versaría sobre la aplicación del metaverso y la interpretación del patrimonio en el campo de la docencia. Por último, en el tercer bloque, se trataría el patrimonio histórico y cultural heredado, especialmente la arquitectura medieval y, dentro de ella, la torre del Homenaje del castillo de Montilla. Por tanto, trataremos los tres en subapartados diferenciados en su capítulo correspondiente.

Así, en el primer capítulo se realiza una introducción al metaverso y sus aplicaciones, indicándose los objetivos que pretende esta investigación, justificando las fases que se han acometido a lo largo del periodo doctoral hasta la fecha.

El segundo capítulo, profundiza de manera particular en la metodología del metaverso aplicada directamente en el aula a través de ejercicios de conceptos de iniciación y avanzados de la materia de Dibujo Técnico, así como la elaboración de elementos patrimoniales, tanto de piezas como de escenarios, para que el alumnado experimente e interactúe con ellos en el mundo virtual.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

En el tercer capítulo se expone, traducido al castellano, el artículo publicado en la revista científica “Virtual Reality” (Triviño-Tarradas et al., 2021) sobre los resultados preliminares obtenidos tras experimentar con los alumnos los ejercicios desarrollados en el capítulo segundo.

La Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV) son tecnologías innovadoras aplicadas al área de la expresión gráfica que están ganando influencia en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Aunque estos recursos innovadores permiten nuevas formas de enseñanza, aún no se tiene claro cómo estas aplicaciones pueden influir en la motivación de los estudiantes. El objetivo de este artículo ha sido evaluar si los ejercicios virtuales aumentan el nivel de motivación en diferentes tipologías de estudiantes universitarios. La muestra estuvo compuesta por estudiantes de grado y máster impartidos en la Universidad de Córdoba.

Estas herramientas se encontraban disponibles para los estudiantes a través de cuatro dispositivos: móviles, tabletas, ordenadores y gafas de realidad virtual. La motivación de los estudiantes se evaluó a través de la Instructional Materials Motivation Survey (IMMS) modificada por el modelo motivacional de atención, relevancia, confianza y satisfacción (ARCS).

En una escala Likert de 5 puntos, los resultados mostraron que estos recursos innovadores mejoran en gran medida el nivel de motivación de los estudiantes, especialmente en lo que se refiere al factor "relevancia" ($\mu = 4,01$; $\sigma = 0,98$). Siendo la μ la media y σ la desviación típica de los datos.

En el cuarto capítulo se muestran todos los resultados de los ejercicios básicos y avanzados y de la interpretación patrimonial. Particularmente, todo lo relativo a la elaboración de elementos medievales virtuales en el metaverso y, en especial, la experiencia a escala real de la torre del Homenaje del castillo del Gran Capitán de Montilla. Este capítulo finaliza indicando las conclusiones obtenidas de esta tesis doctoral. Así mismo, se establecen los mecanismos de difusión de esta tesis doctoral.

En el quinto capítulo se muestran las referencias bibliográficas, así como los recursos utilizados para el desarrollo de esta tesis doctoral.

En sexto y último capítulo, se incluyen apéndices que se han considerado relevantes para este trabajo de investigación, donde se indican elementos tales como un pequeño glosario y los equipos técnicos de laboratorio empleados.

CAPITULO 2. El metaverso como herramienta en el aula

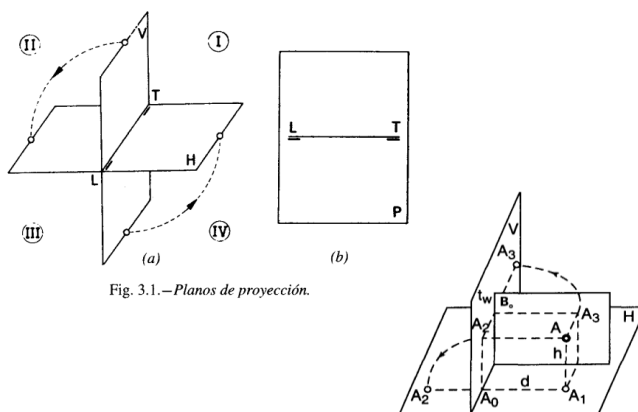
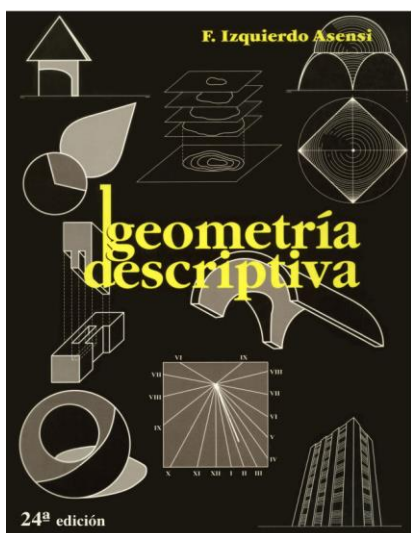
2.1. Introducción

Al igual que el prólogo del libro Geometría descriptiva de Fernando Izquierdo Asensi (2000) (Figura 2), esta sección podría estar “dedicada a aquellos alumnos que, sin tener grandes conocimientos de Geometría métrica, han de iniciar el estudio de la Geometría Descriptiva”. En este libro, del mismo modo que los ejercicios en el metaverso que se pretenden plantear al alumnado se intentan exponer “de la manera más clara posible, la obtención de las diversas proyecciones de un cuerpo en los cuatro sistemas de representación, así como la de su perspectiva caballera y cónica, no habiéndose regateado esfuerzo alguno para que el estudiante pueda comprender las teorías y razonamientos por complicados que puedan parecer. Las normas generales que resumen, a grandes rasgos, el método de enseñanza adoptado es:

- Basar los razonamientos en los teoremas elementales de Geometría métrica, explicando éstos previamente por si el alumno los desconociera.
- Razonar los ejercicios (resolviéndolos previamente en el espacio) y deducir el método a seguir que luego ha de aplicarse en cualquier sistema de representación.
- Indicar una serie de reglas generales para resolver problemas de modo mecánico, evitando así razonamientos innecesarios.
- Utilizar figuras que permitan ver las proyecciones de los elementos geométricos y sus posiciones en el espacio.”

Figura 2

Geometría descriptiva de Fernando Izquierdo Asensi para alumnos que se inician en la materia de grado de Ingeniería y Arquitectura (Fuente: F. Izquierdo Asensi, 2000).



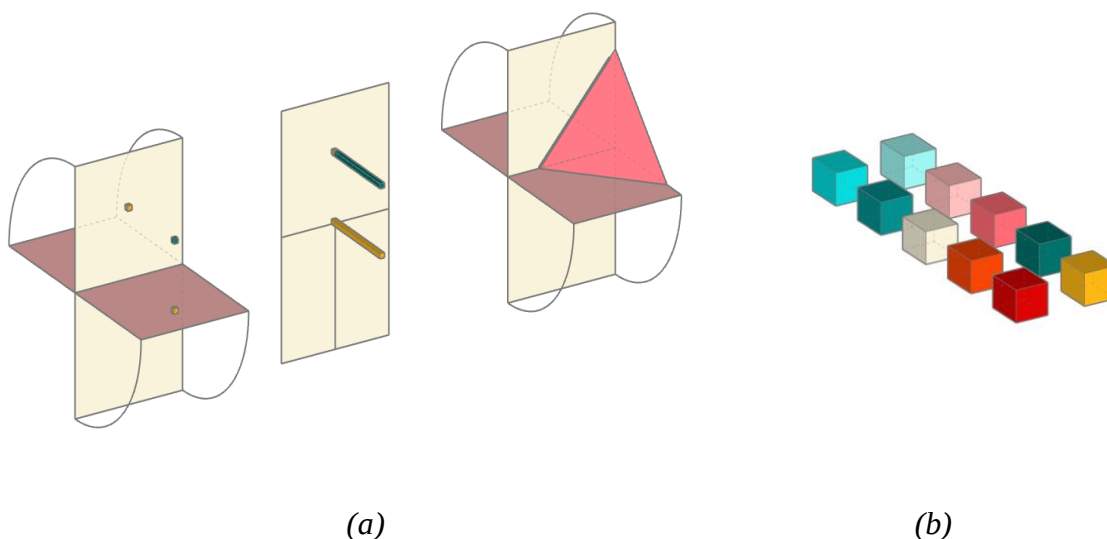
EL METaverso EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METaverso COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

De esta manera, se utilizará este manual de ejercicios de geometría descriptiva, donde buceando en su catálogo de actividades con reconocido prestigio en su la vigesimocuarta edición, se encuentran “ejercicios con demostrada eficacia”, que resultan muy adecuados y óptimos al mismo tiempo que atrayentes y motivadores para los alumnos. En su apartado inicial, se desarrollan los planos de proyección para la representación del punto, la recta y el plano (Figura 3), con el fin de alcanzar la representación de figuras poliédricas regulares, como el cubo o hexaedro.

Figura 3

Sistema diédrico: representación de punto, recta y plano en el espacio (a). Sistema axonométrico: cubo o hexaedro (b). (Fuente: elaboración propia).



Así, lo que se pretende a lo largo de este capítulo es detallar cómo transformar un ejercicio, ya sea básico o complejo, de geometría descriptiva desde el ámbito físico a la virtualización para su implementación en el metaverso. De hecho, se ha publicado un capítulo del libro “International conference on The Digital Transformation in the Graphic Engineering” titulado: “Methodology for the virtualisation of Engineering Drawing exercises for use through Extended Reality”, cuyo fin es elaborar un procedimiento metodológico de creación de los ejercicios de geometría descriptiva para el alumnado de grado de ingeniería. (Triviño-Tarradas et al., 2022). En este capítulo se explicará la metodología para desde el papel al metaverso mediante dos vías fundamentales: desde elementos puramente virtuales (es decir, entes potencialmente implícitos, tácitos o supuestos, pero sin correspondencia con cuerpos reales) o desde elementos puramente reales (en otras palabras, preexistentes físicamente). En cuanto a los elementos puramente virtuales son ejercicios propios de geometría descriptiva (distintas rectas y/o planos en diferentes posiciones en el espacio) o aquellos elementos que se pretenden proyectar, diseñar o, incluso, reproducir de un cuerpo real que no está completo.

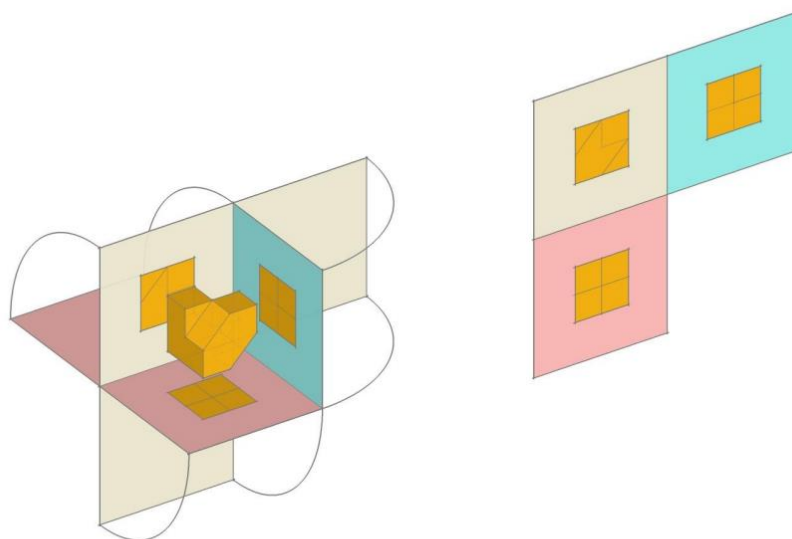
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Tal es el caso de piezas complejas de geometría descriptiva (Figura 4), elementos arquitectónicos o piezas de ingeniería de nuevo diseño. También forman parte de este último grupo, los elementos arqueológicos pretenden recuperar el estado original del objeto que antaño fueron. En la obtención de estos modelos virtuales que se plantea en primer lugar en el espacio papel para llegar al metaverso, se basa el uso masivo de un paquete de tecnologías y de software específico de digitalización 3D, especialmente, los programas: 123D Catch, Blender, MeshLab, Visual SFM, CMVS, xNormal (relación no exhaustiva de ejemplos de software libre), Agisoft Photoscan, Reality Capture³, Zbrush, Retopo Max, 3DS Max y Substance Designer entre otras.

Figura 4

Proyecciones de una pieza compleja en sistema diédrico: alzado, planta y perfil. (Fuente: elaboración propia).



En cuanto a los elementos que se clasifican como puramente reales se incluirían tanto piezas físicas, minúsculas o de gran tamaño, ya sean de ingeniería o de arquitectura, como edificios o partes de ellos, grandes extensiones de yacimientos arqueológicos, complejos monumentales e incluso grandes extensiones del territorio y paisajes. En la obtención de estos sujetos físicos transformados al metaverso, juega un papel metodológico fundamental la fotogrametría, como se verá a lo largo de este capítulo, especialmente en el apartado dedicado al desarrollo del ejercicio práctico de transformación de un quemaperfumes tardomedieval (Figura 5) que se integra en el metaverso.

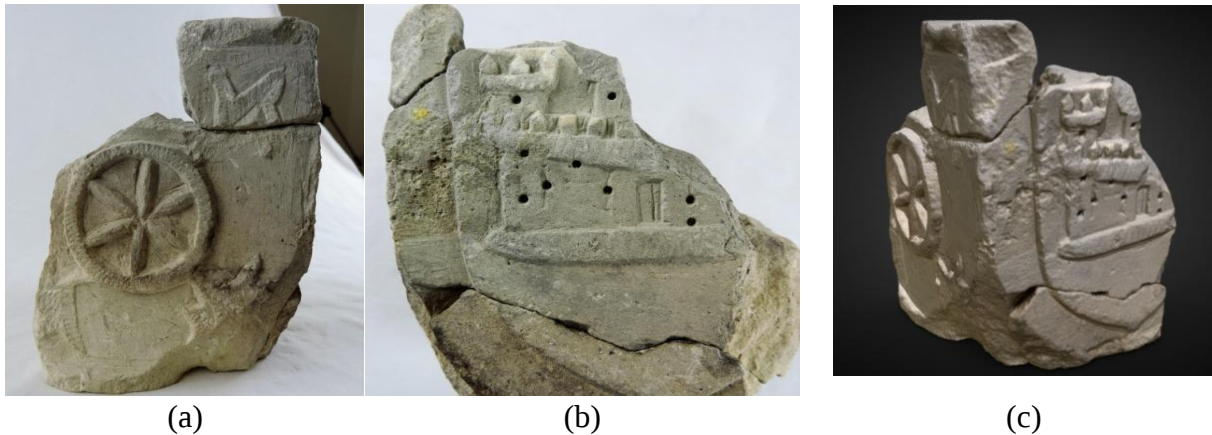
³ RealityCapture: Mapping and 3d modeling photogrammetry software - capturingreality. Com. (s. f.). Recuperado 30 de marzo de 2022, de <https://www.capturingreality.com/>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 5

Quemaperfumes preexistente (a) y (b) y su réplica virtual en el metaverso (c)
<https://skfb.ly/6VJJK>. (Fuente: elaboración propia).



Por tanto, existe una misma metodología o línea conductora que se enfrenta de dos maneras diferentes ante un mismo problema: cómo se traslada un elemento del espacio físico o abstracto en un papel al metaverso.

En efecto, al igual que Izquierdo Asensi, se desea es que el alumnado, a través del metaverso, comprenda el sistema diédrico de la mejor manera posible; para ello, se utiliza esta tecnología como una “aplicación” que, en cierta manera, potencia la gamificación (Ibañez et al., 2020) de los procesos de enseñanza-aprendizaje. No obstante, con los móviles, los alumnos realizan una visualización 3D no-inmersiva a través de sus pantallas digitales. Pero aquí se pretende realizar una visualización totalmente inmersiva, lo que solo es posible a través de cascos o gafas de Realidad Virtual (HMD).

Con este trabajo se pone en valor la aplicación de estas innovaciones tecnológicas en el ámbito de la educación universitaria, y se identifica cual es la metodología idónea para la virtualización de ejercicios de dibujo en ingeniería.

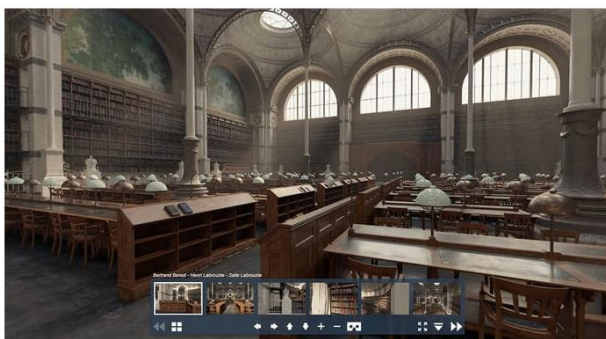
2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

2.2. Estado del arte del metaverso

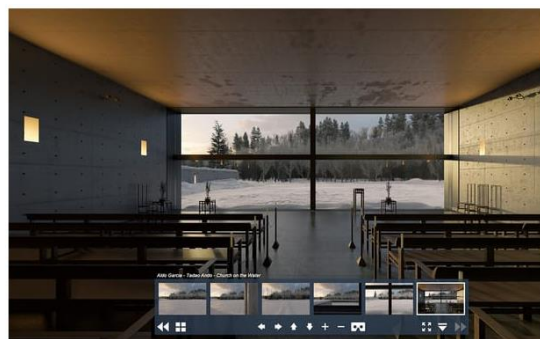
Antes de llegar a la concepción actual del metaverso (al menos con la denominación de las grandes empresas tecnológicas), la ingeniería y la arquitectura ya empleaban los recursos de la RV, RA y RM tanto en la construcción real como en la cinematográfica. En este aspecto, cabe destacar el trabajo de *Stanley Brusse* (Figura 6) ([Viewing VR stereo cubemaps in a browser and Google Cardboard | Chaos](#) 2022), cuyo mentor es Christopher Nichols, un veterano de la industria de CG y director de *Chaos Group Labs*. También se le puede escuchar regularmente como presentador del podcast *CG Garage* que atrae a más de veinte mil oyentes semanales. Con experiencia en VFX y *Design*, Chris trabaja para *Gensler*, *Digital Domain*, *Imageworks* y *Method Studios*. En su currículum se incluyen colaboraciones en películas como *Maléfica*, *Oblivion* y *Tron: Legacy*.

Figura 6

Resultados de Stanley Brusse: Bertrand Benoit, sala Labrouste (a) y la iglesia sobre el agua de Tadao Ando (b) (Fuente: Stanley Brusse). http://wip.sbrusse.com/AG_CubeMap/



(a)



(b)

La RE XR⁴ es una denominación técnica más reciente que engloba los conceptos de RV, RA y RM (Greengard, 2019). En efecto, la palabra metaverso solo sustituye a las palabras “Realidad Extendida” sin añadir ningún concepto o nueva tecnología, es decir, aproxima el lenguaje a la clase media con el fin de otorgarle un potencial éxito de masas y empresarial equivalente a lo que en su día supuso la era de internet.

⁴ XR acrónimo de su denominación anglosajona eXtended Reality.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

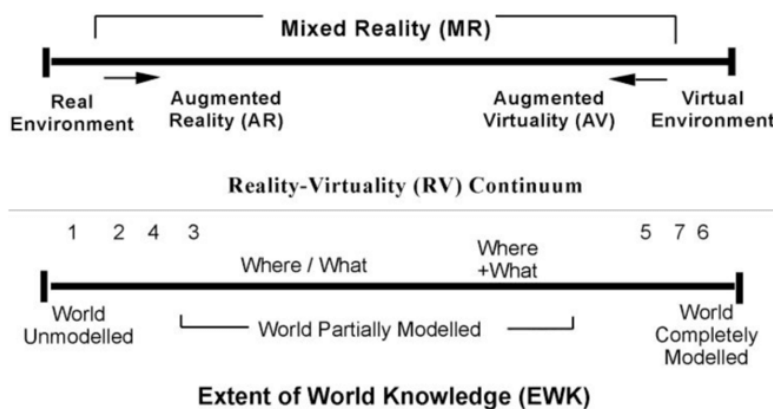
2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Así, el metaverso permite interactuar con nuevos espacios que fusionan el mundo físico con el virtual. Esta tecnología sufre un desarrollo que pone de manifiesto una evidente utilidad en campos destinados a la investigación del patrimonio (Marto et al., 2019). En el presente trabajo se aplica intercalando, con rigor histórico, una hipótesis de reconstrucción a la realidad construida. Y, aunque la realidad física y la RV se han visto como realidades opuestas, con los últimos avances eso es algo que está a punto de cambiar.

Son muchos los autores que han pretendido caracterizar estas realidades (Milgram et al., 1995) y presentan en la Figura 7 una clasificación mediante contraposición de los extremos de la realidad. En el espectro continuo entre realidad y virtualidad (el metaverso) se sitúan la Realidad Aumentada y la virtualidad aumentada (Sweeney, 2019). Se utilizan diferentes aplicaciones de un mismo modelo que ayudan a implementar un tipo de metaverso (mezcla de virtual y real).

Figura 7

Representación simplificada del Continuo de Virtualidad, tal como lo imaginan Paul y sus compañeros, puesto en relación con su gradiente de conocimiento posible de la realidad (Fuente: Milgram et al., 1995).



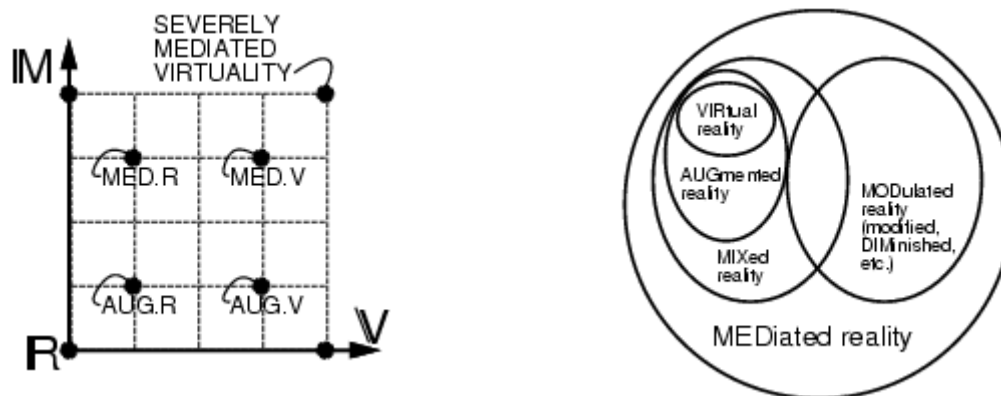
En líneas generales, se trata de mejorar la experiencia cognitiva real aportando aquella información que complemente la escena. En la actualidad, con el avance de los diferentes dispositivos, este concepto de continuidad se presenta totalmente válido (Sweeney, 2019). De hecho, como su nombre quiere decir, el metaverso avanza hacia la mezcla con la realidad sensorial, de manera que se modifica artificialmente la percepción humana a través de los dispositivos de interacción (cascos RV, dispositivos móviles de RA, consolas de videojuegos, etc....) influyendo de manera concentrada en la percepción sensorial del sujeto. Con anterioridad a la denominación metaverso, esta tecnología se conocía como realidad mediada (Mann, 2002). En la Figura 8 se observa el campo en el que se mueve el metaverso en este sentido.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 8

Realidad mediada con implementaciones para la vida cotidiana (Fuente: Mann, 2002).



En el extremo inferior Mann sitúa la realidad sin intervención ninguna representada por la letra R. En el eje de abscisas se mueve mediante aporte de la gráfica-visual a una realidad virtual aumentada, estando en este momento en el anterior continuum de Milgram. Pero el aporte de innovación se produce en el eje de ordenadas, donde incide mediando ese grado de realidad-virtualidad en mayor o menor grado hasta llegar al extremo opuesto que sería la denominada virtualidad severamente mediada. Conceptualmente se denominan así las tecnologías que permiten interactuar con nuevos espacios que fusionan el mundo físico con el virtual.

En cuanto a ejemplos prácticos de metaversos se destacan en las Figuras 9 y 10, algunos modelos existentes y en uso, disponemos ejemplos museísticos como: <https://sketchfab.com/man>; [Metropolitan Museum of Art - A 3D model collection by Thomas Flynn \(@nebulousflynn\) - Sketchfab](https://sketchfab.com/britishmuseum); <https://sketchfab.com/britishmuseum> y <https://sketchfab.com/ivlpaleontology>. De ellos destaca el primero, el MAN (Museo Arqueológico Nacional Figura 9), por ser nacional y porque muestra en un catálogo de ejemplos prácticos de piezas de gran valor que se podrían visitar en el museo real. Aunque este ejemplo carece del escenario que dé lugar al metaverso, se constata que se accede a un no espacio o no lugar de ingravidez, donde se aprecia cada detalle del objeto, con un nivel de observación muy superior al que se llega visitando físicamente el museo y visualizándolo a través de una vitrina. De alguna forma, la experiencia permite el traslado al laboratorio como investigadores del propio museo.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 9

Ánfora con el rapto de Casandra (Fuente: Museo Arqueológico Nacional 2020). <https://skfb.ly/RBvY>



Figura 10

The Rosetta Stone, The British Museum (2021). <https://skfb.ly/6stSI>

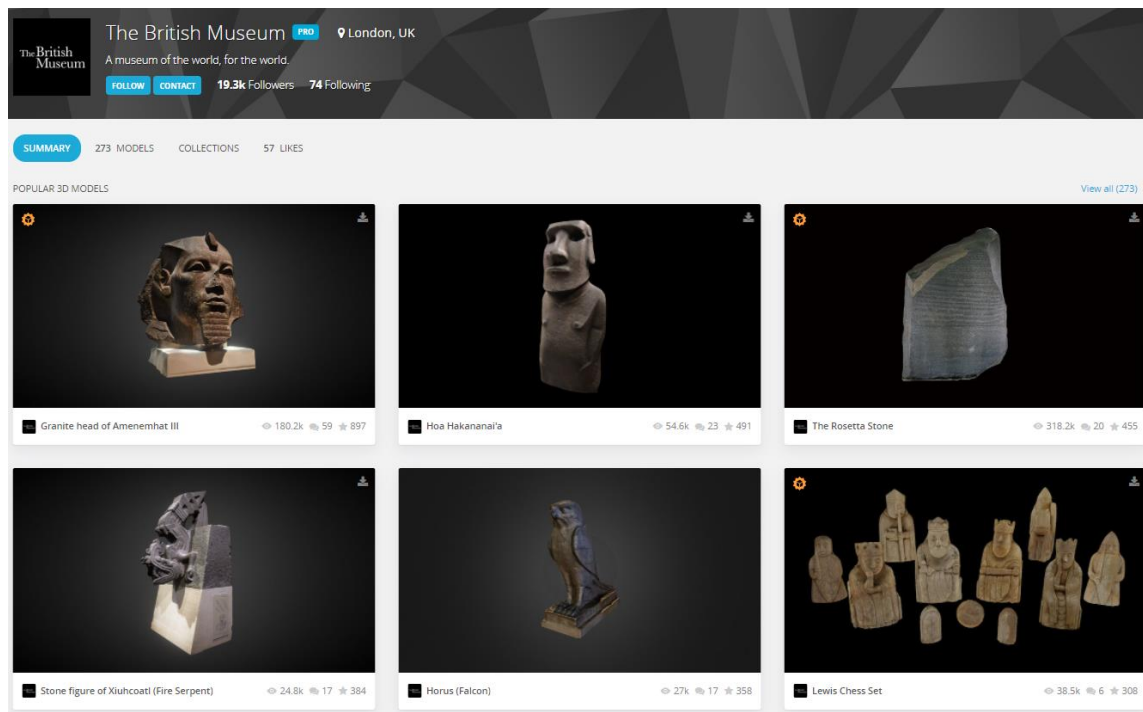


EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 11

Repositorio de objetos digitalizados (Fuente: *The British Museum* 2021). [3D models by The British Museum \(@britishmuseum\) - Sketchfab](#)



Estos objetos presentan la posibilidad de ser mostrados mediante la RA y RV. Considerando que tiene en cuenta el rastreo de movimiento de manera que se desplaza junto al usuario. Utiliza un proceso llamado de localización y mapeo simultáneo, o SLAM por sus siglas en inglés (Simultaneous localization and mapping. [Simultaneous localization and mapping - Wikipedia](#) 2021), para entender dónde está el usuario en relación con el mundo que le rodea. El algoritmo detecta los llamados puntos de control mediante los diferentes puntos de vista. Utilizando estos puntos se calculan su cambio de ubicación. La información visual se combina con mediciones internas del dispositivo para estimar la ubicación (posición y orientación) de la cámara en relación con el mundo en tiempo real (Covolan et al., 2020). Al alinear la ubicación de la cámara virtual, que superpone su contenido 3D con la ubicación del dispositivo proporcionada por el algoritmo, los desarrolladores pueden renderizar contenido virtual desde la perspectiva correcta. La imagen virtual renderizada se puede superponer sobre la imagen obtenida por la cámara del dispositivo, haciendo que parezca que el contenido virtual es parte del mundo real (Yaojun et al., 2012).

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

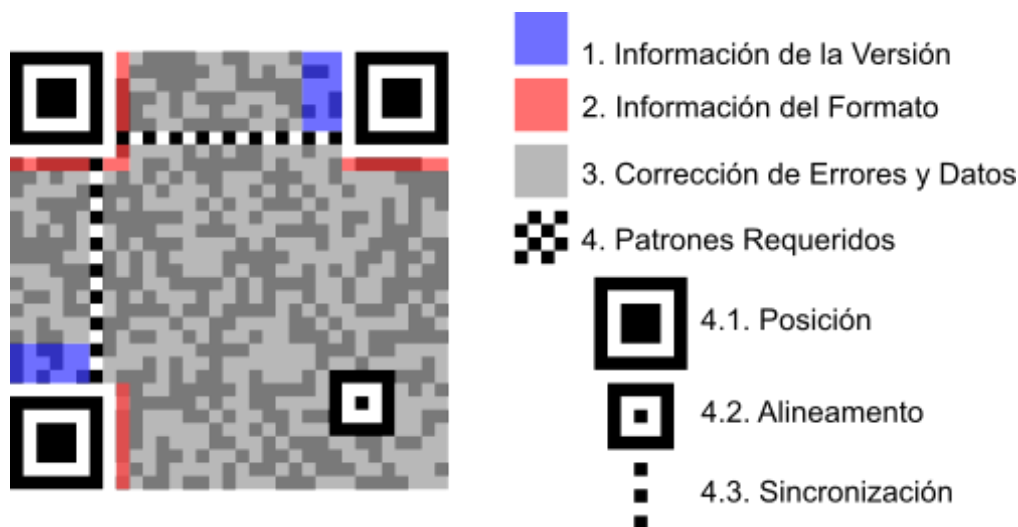
2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Dentro del espectro comentado, hoy en día, se clasifica en los siguientes tipos:

- 1.- En un primer nivel de sencillez se situarían los códigos QR como se observa en la Figura 12 (Chou & Wang, 2020). Se trata de una RA inicial, son enlaces que a través de un código conecta un dispositivo con una página web o conexión virtual. Siendo esto una RA en sí misma, muy básica, generalmente hacia un objeto propio que se quiere mostrar. Hoy en día, por motivo de la pandemia, se ha vivido un auténtico resurgir de esta solución. Estos códigos evitan el contacto físico con elementos de información que se comparten con multitud de personas como, por ejemplo, las cartas de los restaurantes.

Figura 12

Ejemplo de código QR. https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digo_QR
(Fuente: Wikipedia.org 2022).



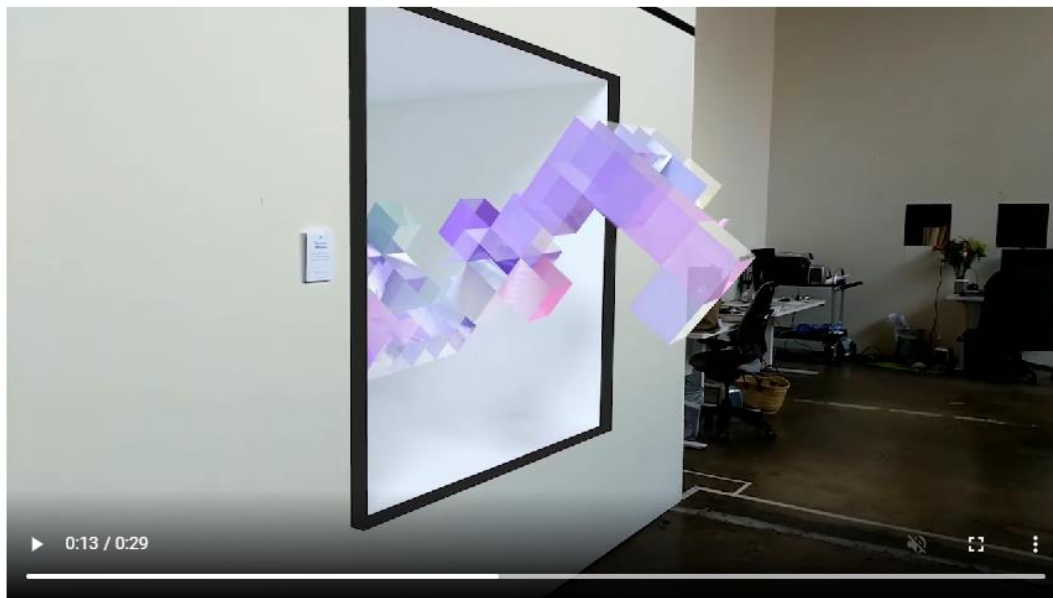
- 2.- En el siguiente paso de complejidad se situarían las imágenes de referencia siendo estas, como se observa en la Figura 13, una RA de un nivel más avanzado. Cuando el usuario pasa la imagen por una cámara o dispositivo móvil, se añaden capas virtuales a la imagen física real.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 13

Caso de imagen aumentada <https://developers.google.com/ar/develop/c/augmented-images%20> (Fuente: ARCore, s. f. 2022).



- 3.- Por último, en el caso más avanzado, el objeto virtual se integra totalmente en el espacio real en el que se encuentra, es decir, se visualiza a través de un dispositivo un objeto real a través de una aplicación en el móvil mediante el lenguaje de programación, Apple ARKit⁵ o Google ARCore⁶, y se le añade un objeto virtual, de manera que quedan fusionados en un no lugar o metaverso. Para que esta interacción parezca real hay que sincronizar la posición en todo momento del objeto (Figura 14), a la vez el algoritmo hace un entendimiento del entorno mediante figuras básicas. Considera una estimación básica de la luz (Figura 15), es decir, configurar la iluminación en los puntos de los planos base escaneados para que la experiencia inmersiva a través de un dispositivo especial, tipo gafas, integre todo el movimiento escaneado con el movimiento del usuario. En la Figura 16, se fusiona la mesa (objeto real) con la pelota (objeto virtual).

En el caso más avanzado (Figura 17) la integración es total y se produce en tiempo real de una manera interactiva.

⁵ Augmented reality para los usuarios de iOS

⁶ Nuevas experiencias de Realidad Aumentada que combinen a la perfección los mundos digital y físico de Google.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 14

Esquema de rastreo de movimiento

<https://developers.google.com/ar/develop/c/augmented-images> (Fuente: ARCore, s. f. 2022).

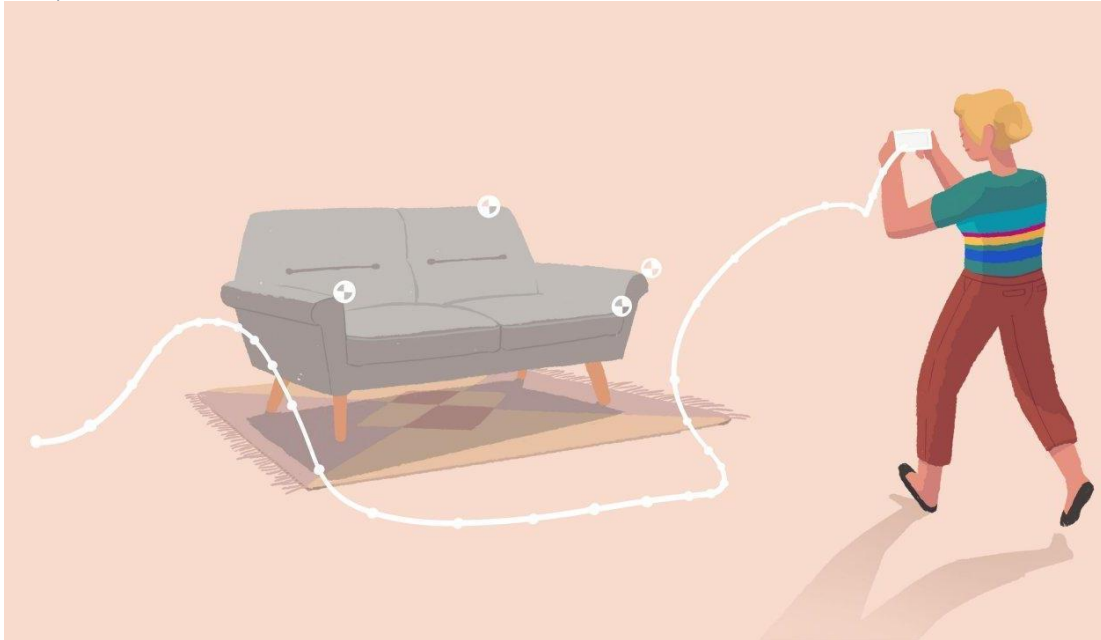
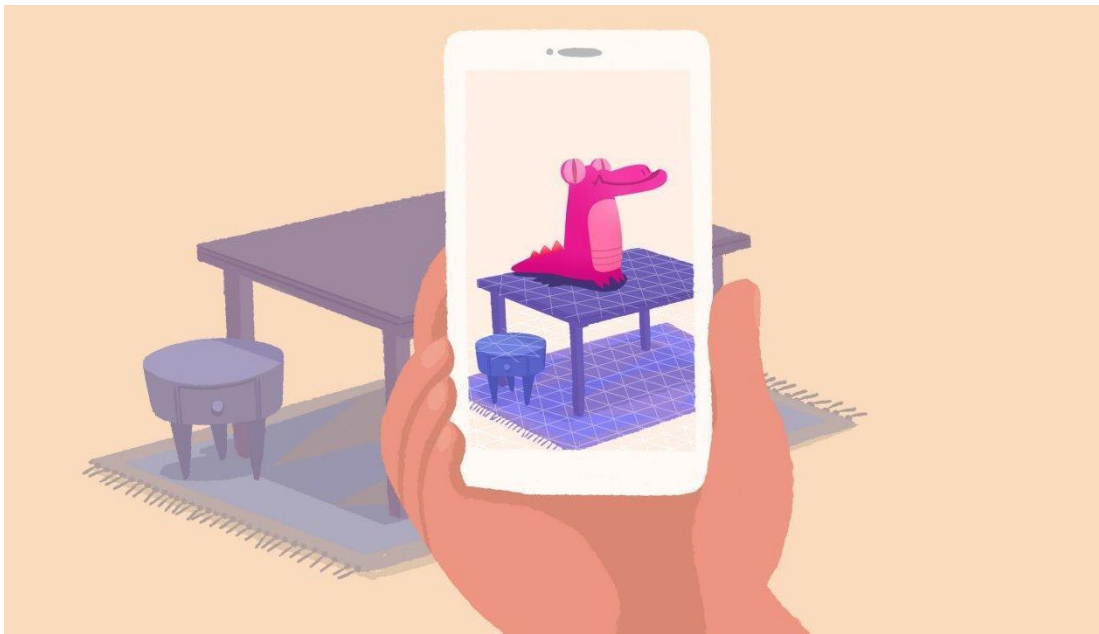


Figura 15

Esquema de rastreo de condiciones de iluminación ambiental

<https://developers.google.com/ar/develop/c/augmented-images> (Fuente: ARCore, s. f. 2022).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 16

Ejemplo de fusión de objeto real y virtual (Fuente: Apple developer documentation, s. f.).

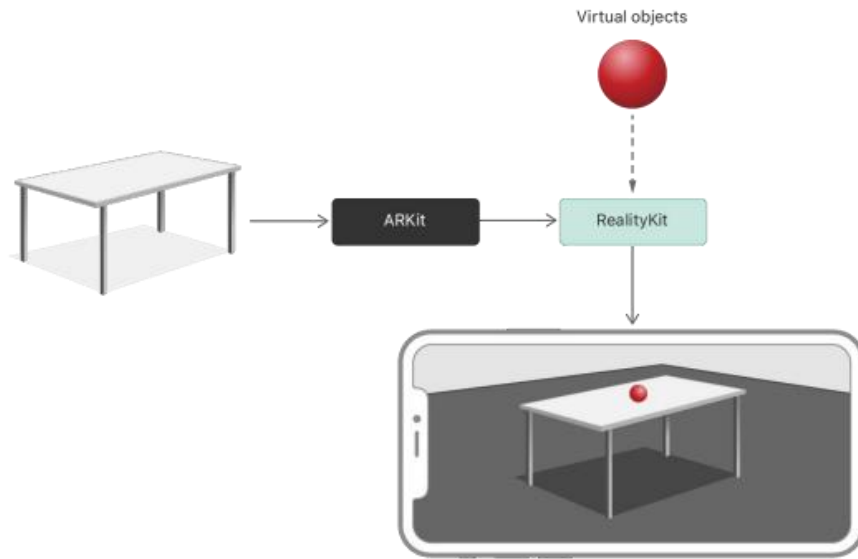


Figura 17

Ejemplo de inmersión en un metaverso (Fuente: Microsoft HoloLens, s. f.).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

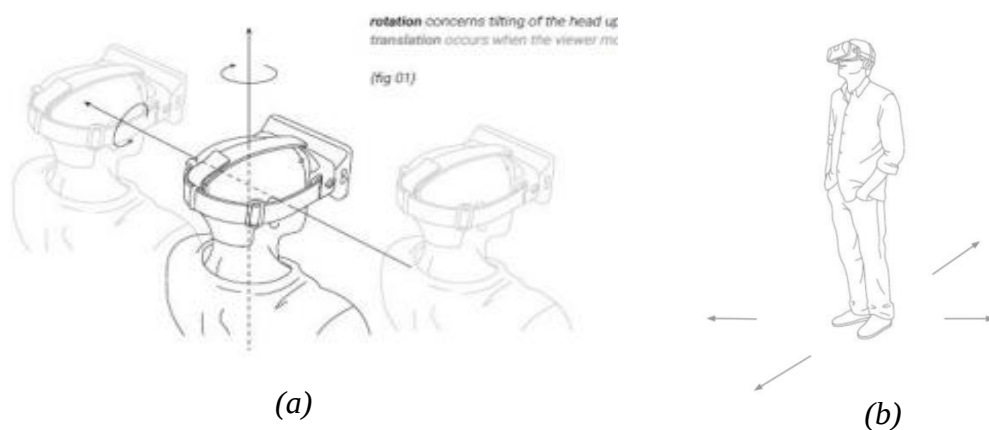
2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

En cuanto a la RV, Milgram (1995) defiende que anulamos nuestros sentidos, especialmente la vista, tacto y oído (aunque algunos ya hablan de incluso olfato y gusto también). Para ello es necesario un software que genere la RV y un hardware que introduzca al usuario en ella, especialmente a través de un dispositivo como las gafas, que pueden ser tipo casco, que cubre al usuario toda la visión del mundo real y crea un nuevo campo visual, que no solo complementa los sentidos, sino que los virtualiza dentro de ese metaverso. El mismo dispositivo es capaz de virtualizar los movimientos que el usuario realiza en el mundo real para trasladarlos a ese nuevo universo virtual.

Sin embargo, para conseguir una óptima inmersión, lo más importante es la recreación del movimiento, lo cual se consigue mediante la monitorización de los grados de libertad (Yaojun et al., 2012). Los términos 3DoF y 6DoF⁷ se utilizan para describir las capacidades de rastreo o monitorización de los dispositivos.

Figura 18

Ejemplo de tres grados de libertad, 3DoF, (a) y seis grados de libertad, 6DoF (b) (Fuente: The Guide to vr Is out. Chaos, s. f.).



De esta manera, un dispositivo 3DoF, abreviatura de "Tres grados de libertad (Degrees of freedom)", es uno tal que sólo puede rastrear el movimiento de rotación de la cabeza, en el sistema diédrico XYZ. Esto es común en dispositivos que dependen exclusivamente de las lecturas del acelerómetro y el giroscopio para proporcionar el seguimiento. Los dispositivos 3DoF no responden a los movimientos traslacionales del usuario, aunque pueden emplear algoritmos para estimar los cambios traslacionales basados en el modelado del cuello o los brazos.

⁷ Chaos Group Podcast 2020 <https://static.chaosgroup.com/documents/assets/000/000/023/original/Guide-to-VR-Chaos-Group-Labs.pdf?1472326790>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Por otro lado, un dispositivo 6DoF, abreviatura de "Seis Grados de Libertad", es el que puede rastrear tanto la rotación de la cabeza como la traslación del cuerpo, permitiendo un rastreo preciso a escala 1:1 en el espacio. Este proceso requiere, de forma paralela, un nivel de comprensión del entorno. Esa comprensión del entorno puede lograrse mediante el rastreo interior-exterior, en el que los sensores del propio dispositivo (como cámaras o sensores de profundidad) se utilizan para determinar la posición del dispositivo.

Entre los dispositivos que existen en el mercado para conseguir esta inmersión virtual, los más destacados son: Google Daydream, HTC Vive, Magic Leap One, Microsoft Hololens, Oculus Rift S, Samsung Gear RV y Windows Mixed Reality. Son dispositivos tipo gafas. Sin embargo, las adquiridas por Meta, hasta hace pocos días Facebook, son el modelo Oculus Quest.

Figura 19

Modelo de gafas Oculus Quest2 (Fuente: Meta 2022).



En el Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba se dispone de un modelo de Oculus Rift y otro de Oculus Quest, que son las gafas utilizadas en este trabajo de investigación. En realidad, son dos modelos, el modelo base y el modelo avanzado, ambos disponibles en el departamento. La diferencia entre ambos es vital, mientras que el primero necesita estar conectado a un PC, el segundo es autónomo, por lo que no depende de otros equipos para su uso.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 20

Modelos de gafas Oculus Rift S y Oculus Quest respectivamente (Fuente: Oculus 2019).



No obstante, para obtener un resultado creíble y una experiencia inmersiva, es necesario que el escenario sea real. El metaverso en el que se desarrolla nuestra actividad es un espacio que acompaña al usuario, complementa su motivación y desarrolla sus competencias.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Como se ha comentado con anterioridad, hoy vivimos una democratización de los sistemas de adquisición virtual mediante tecnología, (Fernández Laso et al., 2018), en consecuencia, se puede acceder a la documentación 3D de la más alta calidad geométrica porque se accede a una tecnología de bajo coste que democratiza la virtualización tridimensional.

Dicha tecnología se clasifica dentro de los métodos pasivos de adquisición con el que obtener la documentación de cualquier pieza sin apenas tocarla: la fotogrametría. Es decir, en contra del método activo en el que sí existe una emisión de radiación sobre el objeto (diversas fuentes de emisión como ondas sonoras, luz que escanean el objeto a renderizar), el método pasivo consiste en realizar fotografías, no se emite información para recibir los datos, mediante las cuales formamos una nube de puntos o malla tridimensional que formará parte del metaverso (Hanan et al., 2015). La base de la credibilidad se encuentra en la calidad de las nubes de puntos, las mallas y las texturas, de manera que la documentación tridimensional es una de las partes más importantes de este trabajo, ya que va a determinar la calidad final de nuestro producto, al mismo tiempo que va a contribuir a la consecución de los objetivos propuestos en este capítulo.

Resulta importante conocer que, la fotogrametría comienza mucho antes de que se inventara la misma fotografía, con Johann Heinrich Lambert (físico y matemático alemán), quien en 1760 escribió “Photogrammetria, seu de mensura et gradibus luminis colorum et umbras”, donde propone resolver la restitución en perspectiva, sentando por tanto las bases técnicas que se aceptarían un siglo después. De hecho, oficialmente, la primera fotografía de la historia, que se le conoce como “*Point de vue du Gras.*”, es obra del inventor Joseph-Nicéphore Niépce, y fue tomada en la región de Borgoña, Francia, aproximadamente en el año 1826.

Posteriormente, en 1846, Aimé Laussedat, considerado padre de la fotogrametría (Herrero Vázquez, 2008), científico y militar del Cuerpo de Ingenieros del ejército francés, realizó investigaciones sobre el uso de la fotografía para realizar levantamientos topográficos del territorio, desarrollando con éxito un nuevo método de análisis matemático para convertir perspectivas superpuestas en proyecciones ortográficas en un plano. Estos resultados los publicó en dos tomos de sus obras “Recherches sur les instruments, le méthodes et le dessin topographiques”.

Sin embargo, en 1858 Albrecht Meydenbauer, gran impulsor de la fotogrametría arquitectónica moderna, tuvo la idea de utilizar imágenes fotográficas para la documentación métrica de edificios. Meydenbauer fue un arquitecto alemán preocupado ya en su época por la conservación del patrimonio arquitectónico, por lo que desarrolló una técnica de documentación métrica de las estructuras a partir de fotografías, a la que denominó la misma palabra de Lambert: fotogrametría. Tuvieron que pasar treinta años para que la técnica

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

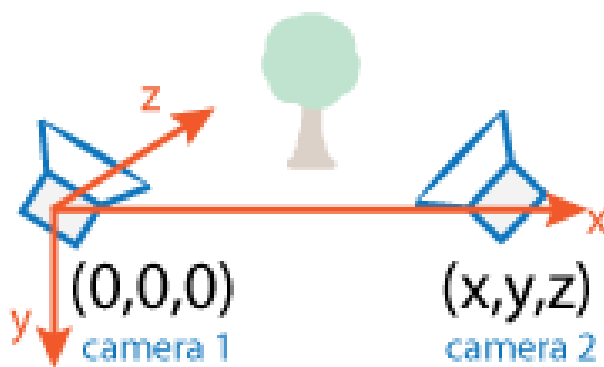
realmente fuese reconocida como fiable, válida y útil. De hecho, en todo este tiempo fotografió más de mil monumentos, la mayoría alemanes, con unas precisiones de restitución de hasta 0,2 mm; incluso su trabajo se utilizó después de las dos guerras mundiales en Alemania para reconstruir de forma precisa el patrimonio destruido durante dichos conflictos.

“Deberíamos decir que Laussedat recoge el guante y presenta una Memoria bajo el tema “per varios usus experientia fecit”, y así la Academia (aún sin saberlo) presentaba en sociedad una nueva criatura, la “Fotometrografía”, y a su padre, Aimé Laussedat. Esta denominación de una nueva ciencia fue acuñada por Meydenbauer aunque Laussedat siempre estuvo en contra del término, manteniéndose en su Métrophotographie” (Herrero Vázquez, 2008).

En el siglo XX es cuando comienzan a utilizarse los nuevos sistemas de documentación fotogramétrica, sobre todo a mediados de siglo cuando la tecnología era incipiente. En los años 90, se observa un salto tecnológico importante, y el concepto moderno para esta nueva técnica es “fotogrametría SfM (Structure from Motion)” (Figuras 21 y 22), que quiere decir estructura (malla tridimensional de puntos) obtenida a partir del movimiento.

Figura 21

Esquema de la fotogrametría SfM. [Structure from Motion Overview - MATLAB & Simulink - MathWorks España](#) (Fuente: MathWorks 2022).

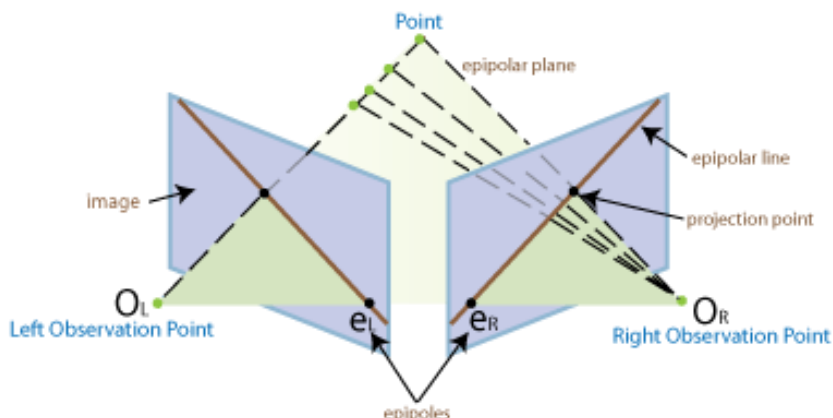


EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 22

Esquema de la restitución de puntos homólogos (Fuente: MathWorks 2022).



La cámara registra la imagen y, a partir de ello, por una serie de procesos de triangulación estereoscópica se crea el modelo tridimensional (Yakar & Dogan, 2019). Es esta fotogrametría la interesante en este trabajo de investigación, ya que va a permitir restituir los elementos en tres dimensiones a partir del solape de ciertas áreas que se observan desde diferentes puntos de vista. En la Figura 22, se aprecia cómo desde distintas posiciones se ve el mismo objeto con esos mismos puntos, pero de forma diferente, es decir, cada imagen o perspectiva es distinta; de manera que sólo la triangulación que se produce es la que permite restituir, no sólo la posición espacial de cada uno de los puntos del objeto, sino las propias imágenes. Luego, a partir del movimiento se forma la estructura del objeto y de las propias cámaras o imágenes que se posicionan espacialmente desde la ubicación que se han tomado. Esta misma idea multiplicada es la que se desarrolla para la construcción de los objetos que se integran en el metaverso.

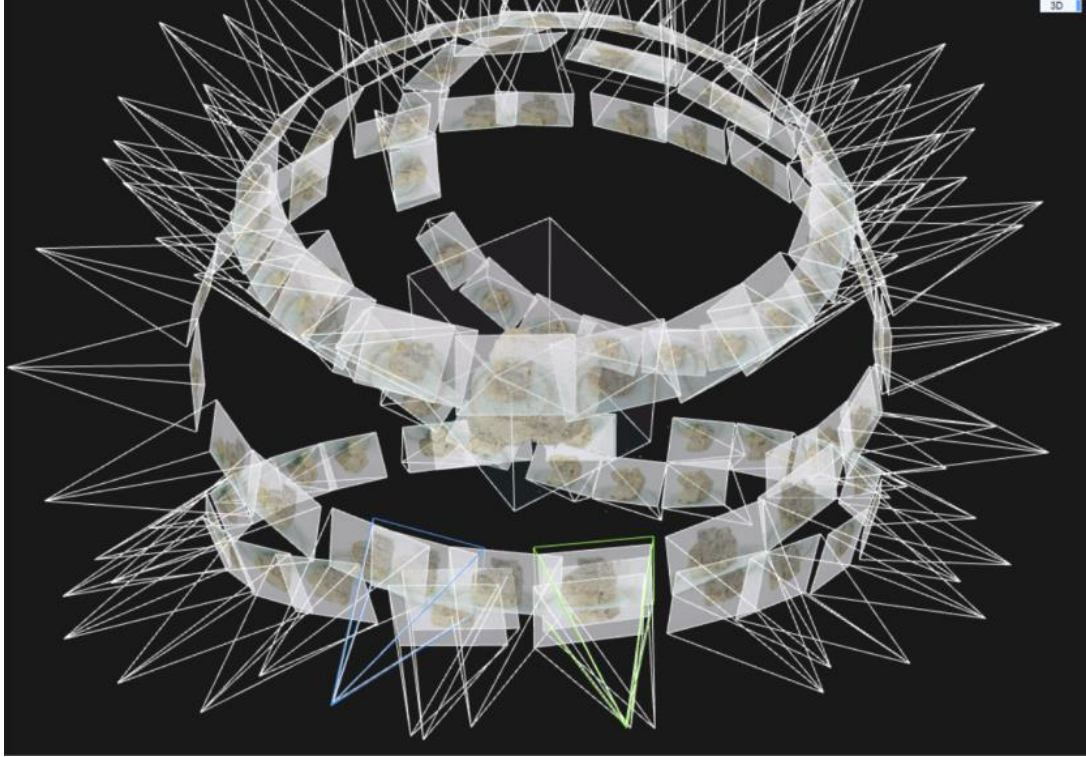
En definitiva, la fotogrametría estereoscópica es el método que usan los sentidos para recrear el mundo que nos rodea a partir de esas dos proyecciones bidimensionales que posee la retina y pasan al cerebro, donde se reinterpretan en tres dimensiones. Hoy en día, se trabaja en equipos Windows y Mac, porque el software fotogramétrico es multiplataforma, sin importar el sistema operativo utilizado para realizar la restitución fotogramétrica.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 23

Ejemplo de esfera de captura mediante técnica de fotogrametría arquitectónica (Fuente: elaboración propia).



2.3. Metodología genérica en el aula

En cuanto a los ejercicios de Dibujo Técnico el presente subcapítulo viene a complementar el artículo publicado en la conferencia INGEGRAF 2021 (Triviño-Tarradas et al., 2022) Methodology for the Virtualisation of Engineering Drawing Exercises for Use Through Extended Reality. In: Cavas Martínez F., Peris-Fajarnes G., Morer Camo P., Lengua Lengua I., Defez García B. (eds) Advances in Design Engineering II. INGEGRAF 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92426-3_49

El desarrollo metodológico de esta tesis doctoral para alcanzar los objetivos propuestos se asienta en tres pilares: la documentación, el análisis de datos y su difusión.

En referencia al primero de ellos, no sólo alude a la documentación técnica o fuentes bibliográficas escritas de rigor científico o histórico, sino a la obtención de información de forma que sea posible su integración en el metaverso. Se diseña una experiencia inmersiva, fiable, creíble y a escala real. La toma de datos y la forma en que se ejecute es de vital importancia, para a continuación, poder realizar un exhaustivo y eficiente estudio o análisis de estos. Por último, la difusión busca conectar con personas, principalmente alumnos de grado y posgrado, para recoger sus impresiones y opiniones con el fin de sacar conclusiones que optimicen la aplicación del metaverso en la práctica docente.

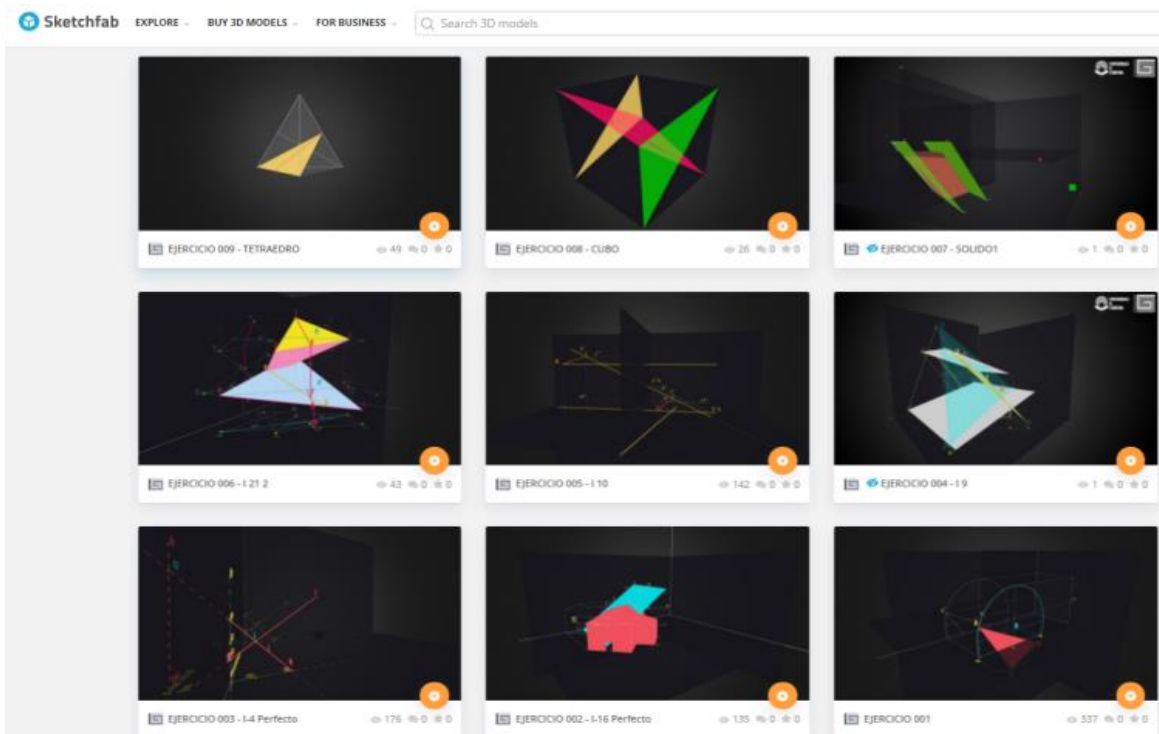
El uso de los metaversos en el desarrollo de esta tesis doctoral, en parte, contribuye a comprender la expresión gráfica desde conceptos básicos y avanzados del área del Dibujo Técnico, como puede ser el sistema diédrico (paradójicamente un sistema gráfico bidimensional para representar la realidad tridimensional), mediante el contraste de ejercicios propuestos de distintas piezas 3D (Figura 24) vistas desde los distintos planos directores de proyección ortogonal. Para la inmersión de una experiencia o práctica, se utilizan en el aula los dispositivos tecnológicos (gafas de RV) expuestas en el estado del arte. En cierta manera, el procedimiento del metaverso aplicado en el aula implica un proceso de gamificación, siendo este concepto pieza clave en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 24

Muestra de la biblioteca en línea de los ejercicios de “Dibujo de Ingeniería” del departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática (Fuente: elaboración propia).



Por tanto, la utilización de gafas de RV, para el metaverso ofrece la posibilidad de adaptar el ritmo de aprendizaje y aporta numerosos beneficios en esta materia.

Los medios digitales que utilizan técnicas WebXR⁸ proporcionan las herramientas para experimentar el metaverso vía remota. Esta práctica no solo nos ha permitido continuar con la tarea de enseñanza sino también mejorar la experiencia del usuario y motivar su aprendizaje. Partiendo de un completo archivo de ejercicios, se han escogido algunos ejercicios tanto del sistema diédrico como del sistema axonométrico que podrían mejorar su comportamiento en un espacio 3D como el que se presenta en la Figura 25.

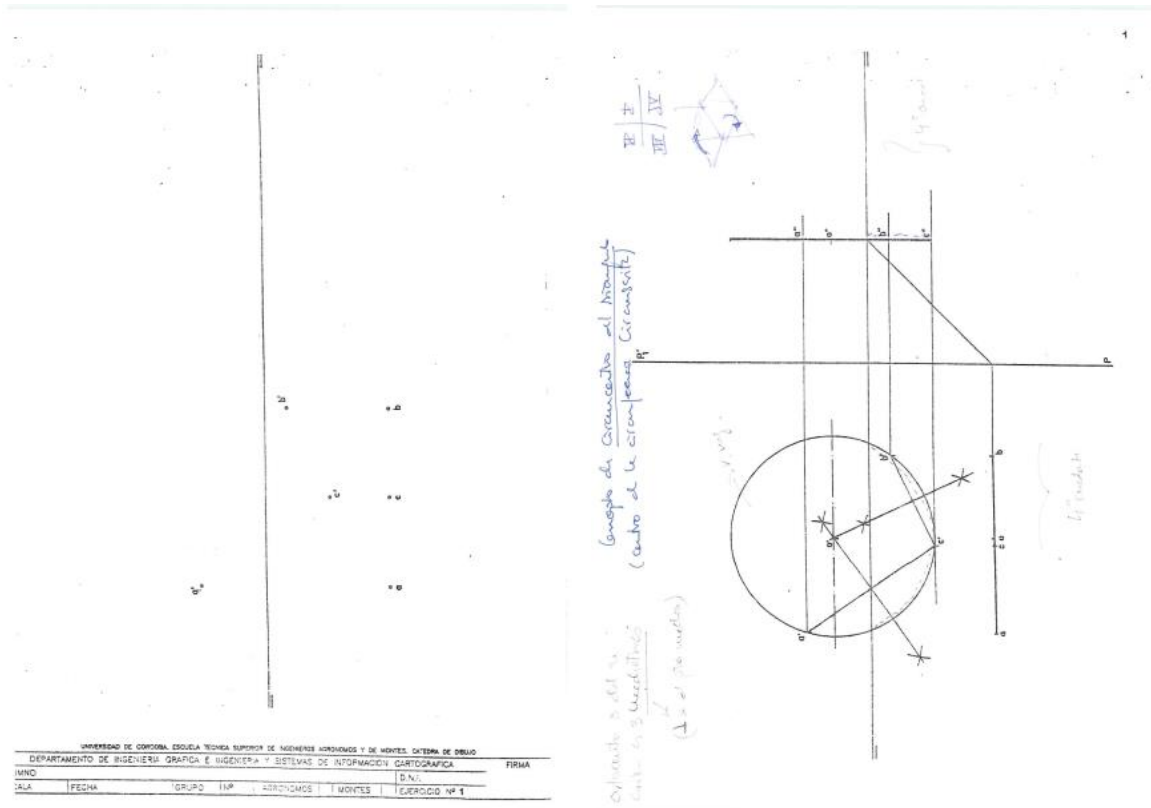
⁸ <https://www.w3.org/TR/webxr>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 25

Ejercicio ejemplo del sistema diédrico (Fuente: elaboración propia).



El software Sketchfab⁹, plataforma en línea, sencilla de usar, permite convertir estos recursos en su gemelo digital, siendo una valiosa herramienta para la enseñanza.

⁹ <https://sketchfab.com/>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

En cuanto al patrimonio rehabilitado desde el punto de vista virtual, aplicado en el metaverso, esta investigación se desarrollará desde una perspectiva interpretativa y cualitativa de la evolución de un castillo medieval. Su concepción es la de una arquitectura defensiva hacia una arquitectura señorial, acotando la búsqueda de información tanto temporal como espacialmente, entre la baja Edad Media y principios de la Moderna, y, sobre todo, en la tipología de castillo en la provincia de Córdoba. En la metodología a seguir, inicialmente, no sólo son interesantes tanto los puntos de vista arquitectónicos y urbanísticos, como las aportaciones desde los campos de Arqueología, Sociología, Turismo, Economía, Sostenibilidad, Medio Ambiente, Historia y Geografía, entre otros.

En cuanto a la Historia, se distinguen dos períodos fundamentales, a nivel nacional, en los que subdividir la información: durante la Reconquista y tras su fin con la toma de Granada. El caso que estudiamos es muy singular, ya que el castillo derribado de Montilla fue propiedad y residencia de un protagonista responsable de la caída del último reducto moro de la península, siéndolo además por méritos propios tanto como estratega como guerrero en el campo de batalla: D. Gonzalo Fernández de Córdoba y Enríquez de Aguilar, el conocido como Gran Capitán.

No obstante, en paralelo a las dos divisiones anteriormente señaladas, el trabajo incorporará un estudio histórico de la evolución de los castillos medievales. Se analizará desde sus antecedentes europeos más relevantes hasta la conversión de estos en elementos monumentales, integrados o no, de la ciudad a la que su construcción dio origen. No sólo de búsqueda histórica o de archivo se va a nutrir esta interpretación de arquitectura defensiva y militar, hoy patrimonial e histórica del castillo del Gran Capitán, sino también de dibujos, grabados y cuadros de distintas épocas, incluso, en su caso, de fotografías de distintos momentos del siglo XX, de manera que sirvan de base y de cimiento para esta labor de recomposición y levantamiento hipotético del castillo en el metaverso.

Es por ello necesario, para ser abarcable desde esta tesis doctoral, limitar la maquetación del modelo a un elemento del castillo lo más característico posible de este tipo de edificaciones militares históricas. Se elige un cuerpo común a todos los castillos: la torre del Homenaje, la cual destaca en cada uno de los mismos por su nobleza y, especialmente, por su mayor altura respecto todo el conjunto.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

A continuación, se expone una línea programática general para aplicar el metaverso en el aula mediante los siguientes pasos:

1º. Estudiar en profundidad el ejercicio o elemento que se desea visualizar para decidir la línea metodológica a seguir según su naturaleza.

2º. Si es un objeto físico, fotografiar la pieza o el escenario, de manera minuciosa y desde múltiples puntos de vista, utilizando para ello una cámara profesional y desde todos los ángulos posibles.

3º. Si es un escenario inexistente, se crea con el software específico mediante modelado tradicional CAD/CAM.

4º. Ajustar la malla tridimensional y realizar las comprobaciones de control de aspecto antes de continuar con el proceso. Opcionalmente, intercalar el procedimiento de optimizado poligonal.

5º. Exportar el objeto modelado con sus texturas en un formato compatible, .OBJ¹⁰ o .FBX para visualizar con un dispositivo especial (gafas Oculus o equivalentes).

¹⁰ Es un formato de archivo de definición de geometría. Este formato es abierto y ha sido adoptado por otros proveedores de aplicaciones gráficas 3D.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Para enriquecer el modelo mixto, se pueden incorporar geometrías inexistentes que se obtienen por comparación. Son generadas en aplicaciones *CAD* y complementadas con programas de modelado poligonal. Las fases para proceder a su integración son:

1º. Creación de la geometría del objeto o edificio en tres dimensiones, con los espesores de sus paramentos, huecos, plantas. Teniendo en consideración los diferentes espacios a crear y en las distintas texturas, materiales o acabados que se le quieren asignar a cada superficie en la que se descomponga el cuerpo tridimensional virtual.

2º. Importar la geometría 3D a un software de modelado avanzado, poniendo especial atención a la escala de la maqueta y la integridad de la malla (soldado de vértices).

3º. En la aplicación de modelado, comprobar las diferentes capas de ajuste y su aspecto general para detectar cualquier anomalía o error que se haya podido cometer en fases anteriores para proceder a su rectificación.

4º. Asignar una textura o material a cada capa o superficie del modelo.

5º. Opcionalmente, utilizar diferentes modificadores en el modelo tridimensional para condicionar el efecto o acabado de la malla.

6º. Exportar a la aplicación de WebXR (en nuestro caso *Sketchfab*) en formato .OBJ/.FBX.

7º. Importar la geometría en el archivo generado en el paso anterior a *Sketchfab*, donde se dispone de un usuario o cuenta profesional para utilizar esta tecnología.

8º. Una vez dentro de la aplicación web, se orienta la geometría para que se ajuste a la realidad física.

9º. Sin salir de los ajustes de *Sketchfab*, se asignan colores a las distintas capas y se modula la escala en RV.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

10º. Comprobado el resultado se procede a experimentar las sensaciones que produce la escena en *Sketchfab*, modificando o retocando aquellas en las que den errores o produzcan efectos distorsionados no deseados.

Con el fin de extrapolar conclusiones de estos resultados, durante los cursos 2019/20, 2020/21 y 2021/22 en colaboración con mis directores de tesis, se realiza en el aula con el alumnado de grado las siguientes actividades:

- Visualización en 3D de aplicaciones prácticas de los Sistemas de Representación dentro del aula y en su casa en aprendizaje autónomo (seis ejercicios de Sistema Diédrico y un ejercicio de Sistema Axonométrico).
- Visualización de ejercicios prácticos en 3D en las tutorías.

En ese sentido, resulta interesante una interpretación social de los datos. Por ello se han realizado ensayos con alumnos y profesores para posteriormente incorporar una encuesta que recoja diferentes inputs que les reportados a la experiencia.

Se han medido varios parámetros tipo ARCS (Keller, 1987), es decir, Atención, Relevancia, Confianza y Satisfacción. Se pregunta a los usuarios por su motivación, posible aumento de Atención en la ejecución del ejercicio, estimulación de la curiosidad y tiempo de atención. Por otro lado, el factor Relevancia alude al interés real del alumno, correspondencia con los contenidos de la materia, utilidad de los recursos en el proceso de enseñanza-aprendizaje e incluso para la vida profesional posterior. El factor relativo a la Confianza, indica si el alumno fuese capaz de realizar los ejercicios sin volver a utilizar el recurso, si se han comprendido mejor los contenidos de la materia tras utilizar el metaverso. Por último, en cuanto a la Satisfacción, parece importante conocer el tipo de impresión que genera en el usuario esta experiencia inmersiva en el metaverso, si aumenta el grado de satisfacción al resolver los ejercicios por medio del uso de las nuevas tecnologías tridimensionales respecto a los realizados de manera tradicional.

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

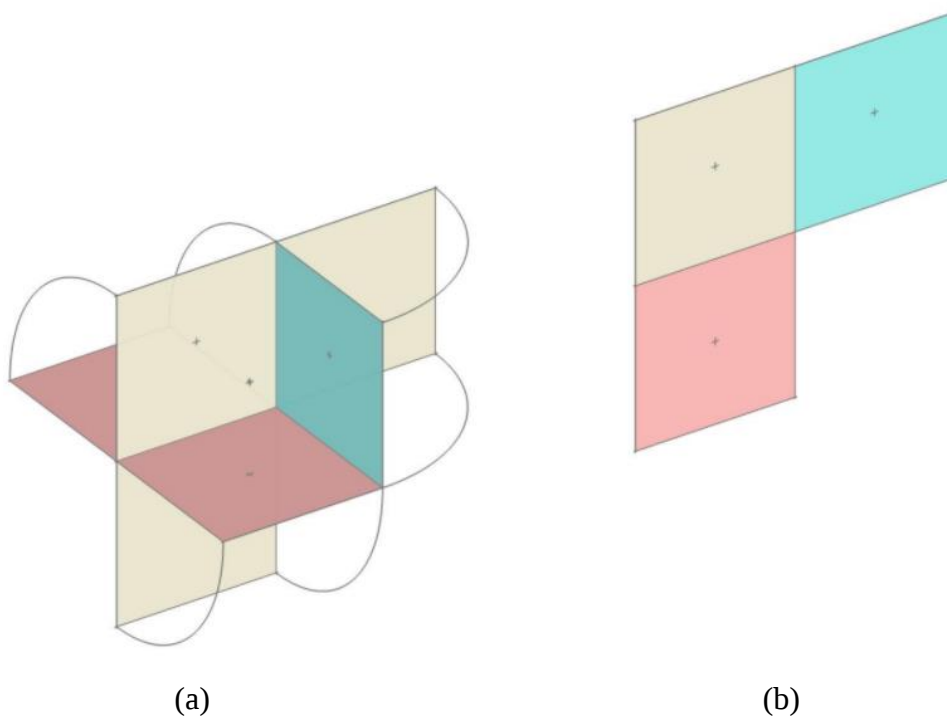
2.4. Metodología específica para ejercicios

2.4.1. Ejercicio inicial

A continuación, se desarrolla la metodología inicial de virtualización de los ejercicios en CAD, para conseguir visualizar las imágenes realizadas en un programa de dibujo vectorial (Autocad o similar), en un espacio virtual tridimensional, es decir, en un metaverso en el que se podría realizar una experiencia totalmente inmersiva. Se trata de ejercicios de geometría descriptiva, en los que se aplican conceptos básicos como el punto, la recta y el plano tanto en sistema diédrico como axonométrico (Figura 26).

Figura 26

Representación de un punto cualquiera en el diedro (a) y abatimiento de los planos de proyección con las proyecciones del punto (b) (Fuente: elaboración propia).



Todo punto en el espacio del sistema diédrico genera automáticamente dos proyecciones en forma de dos puntos (Morell et al., 2010). Una proyección vertical a' , en el plano de proyección vertical, y otra proyección horizontal a , en el plano de proyección horizontal. A la distancia que hay desde el punto al plano horizontal se le denomina 'cota' y a la distancia que hay desde el punto al plano vertical se le denomina 'alejamiento'. La representación en el sistema diédrico de un punto cualquiera se hace a partir de una línea perpendicular a la LT,

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

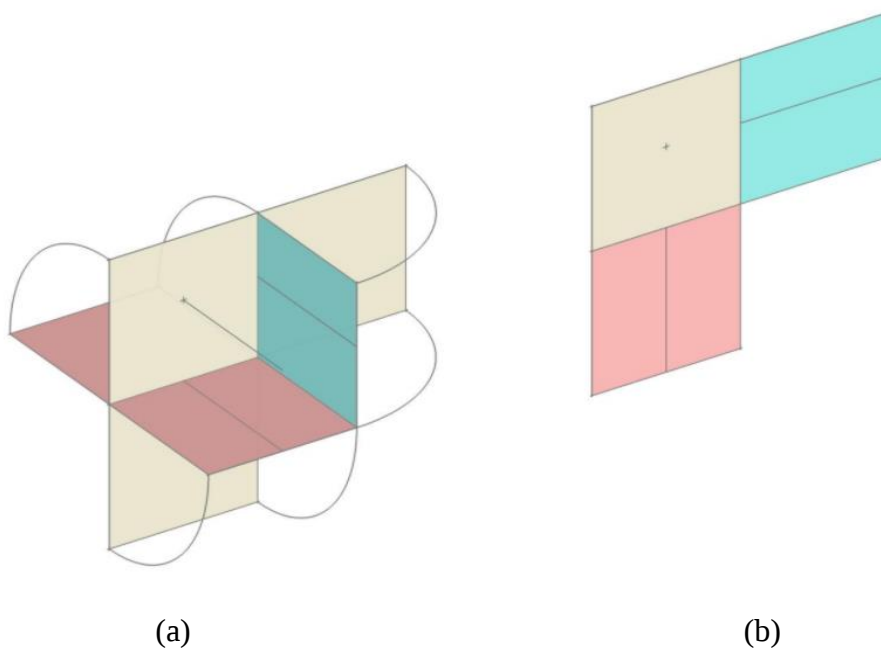
2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

midiendo en la proyección vertical la cota del punto y en la proyección horizontal el alejamiento del punto. En el caso de trabajar con tres planos de proyecciones, a la distancia que hay desde el punto al plano de perfil se le denomina desviación.

En el caso de la recta, representamos en primer lugar sus trazas, o puntos de la recta donde corta al plano horizontal y al vertical. En la Figura 27, se muestra una recta R perpendicular al plano de proyección vertical, creada en CAD, así como sus proyecciones (r' y r). De esta manera, al abatirse los planos en el plano del papel, veríamos el resultado que se muestra en la Figura 27, es decir: dos rectas perpendiculares entre sí, que si se prolongan se cortarían en el único punto que se ha proyectado sobre la línea de tierra, de manera que todos ellos representan a la única recta tridimensional que se observa en el diedro.

Figura 27

(a) Representación de una recta R perpendicular al plano de proyección vertical, en el primer diedro y (b) abatimiento de los planos principales con las proyecciones de dicha recta r' , r y r'' (Fuente: elaboración propia).



Por último, en la Figura 28, se muestra un plano P oblicuo cualquiera, que, se refleja en sistema diédrico a través de sus trazas (P' y P), o rectas de corte con los planos de proyección. Así mismo, se ha dibujado una recta cualquiera en dicho plano, que, al representarla en el plano del papel o resultado de abatimiento de los tres planos directores, se obtienen tres rectas cuyas trazas (o puntos de corte de la recta con los planos directores), se encuentran en las

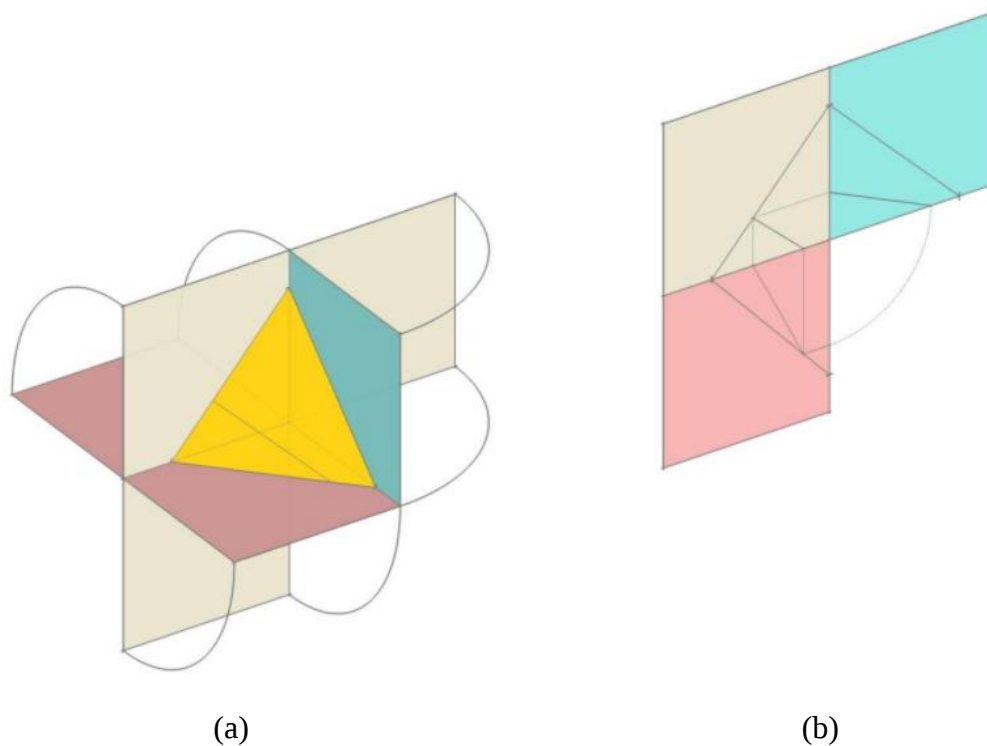
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

trazas del plano al que pertenece (es decir, los puntos intersección de la recta con planos principales se hallan en las rectas intersección del plano oblicuo con los planos principales).

Figura 28

(a) Representación de un plano P oblicuo cualquiera con una recta R que pertenece al mismo en el diedro y (b) abatimiento de los planos principales con las proyecciones de dicho plano y dicha recta. (Fuente: elaboración propia).



Al modelar los ejercicios en 3D con AutoCAD. El primer paso para incorporarlos al metaverso es importar esta geometría 3D a un programa de modelado más específico. Para ello, es muy importante tener especial atención a los vértices de nuestra geometría CAD y la escala del objeto (principalmente para garantizar la integridad del modelo que va a ser importado). Así mismo, también requiere cierta minuciosidad, previo al proceso de importación, la asignación del grosor apropiado a cada una de las líneas de la figura CAD, dándole una forma cilíndrica o rectangular. De este modo, a la hora de observar el objeto virtualmente, este tenga un espesor determinado (posteriormente en el programa de modelado 3DS Max se tratará este punto con más detenimiento). Para llevar a cabo la asignación de grosor, se divide cada entidad por capas. Posteriormente, se deben comprobar las diferentes capas de ajuste (Figura 29), para garantizar que el objeto se está importando con las propias normas geométricas que han sido definidas previamente para realizar el ejercicio.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

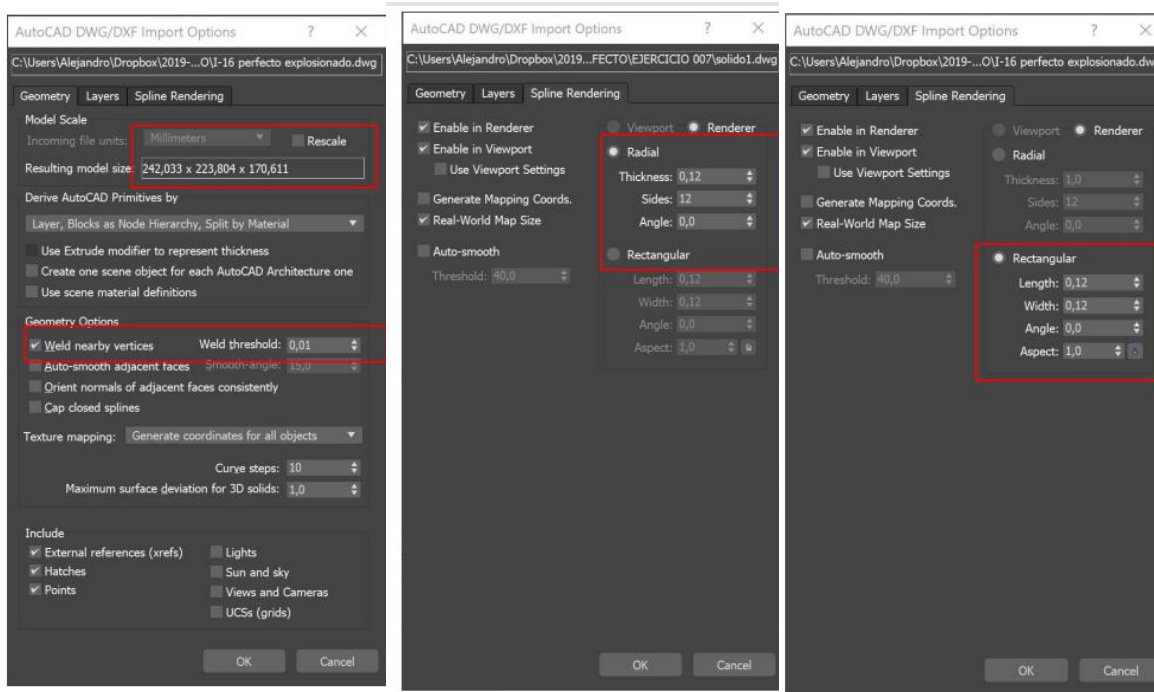
2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

En esta fase, resulta muy práctico, comprobar el aspecto general que va obteniendo en el metaverso para lo que se hace necesario realizar comprobaciones de ida y vuelta. En caso contrario, el arrastre de errores, erratas o malas interpretaciones, como consecuencia de la importación, podría propiciar consecuencias desastrosas, generando una sensación irreal en el metaverso.

Por lo tanto, aunque se trate de una fase preliminar, se considera crítica, pues los resultados finales van a depender notablemente de la ejecución de este proceso de importación desde un programa al siguiente.

Figura 29

Ajustes de importación de CAD a 3DS Max: escalado y soldado de vértices (a), asignación de grosor Radial (b), asignación de grosor Rectangular (c) (Fuente: elaboración propia).



(a)

(b)

(c)

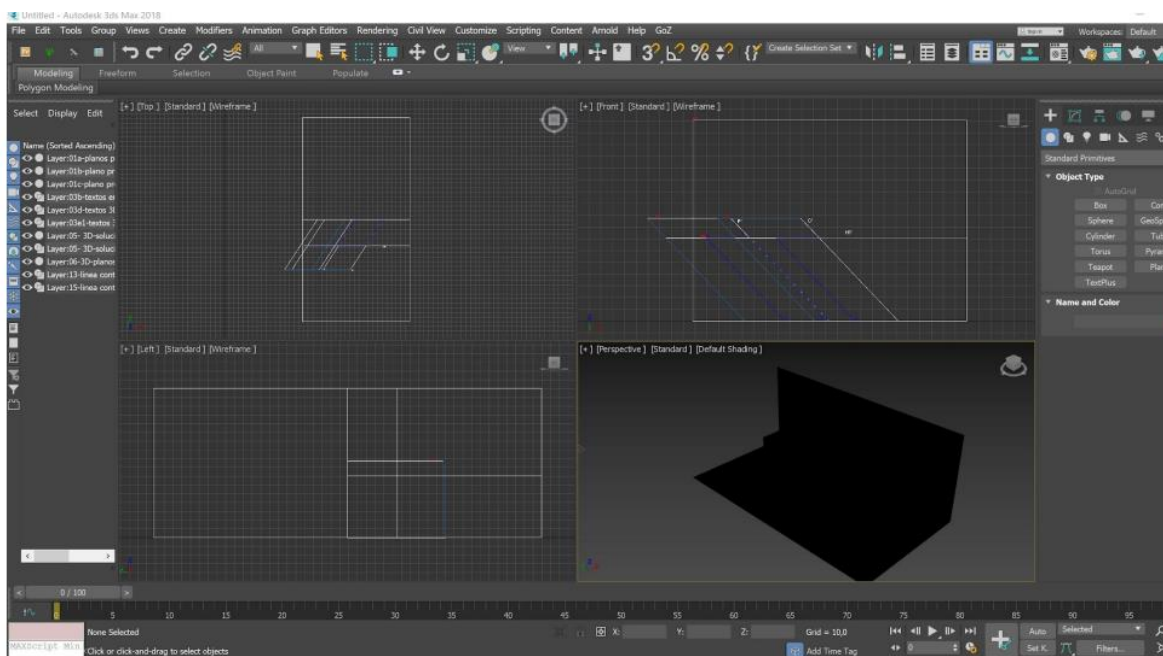
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

En la Figura 30, se observa en color oscuro, cómo se ha cargado la geometría 3D en el programa de modelado. Posteriormente, para interpretar y mejorarlo, al objeto de que se integre de manera óptima en el proceso de enseñanza-aprendizaje, se va a considerar un código de colores que transformen la geometría en algo visualmente más atractivo, es decir, se van a designar colores que lo optimicen. Para ello, se recurre a otra aplicación como podemos ver en la Figura 31 Adobe Color (*Adobe Color*, s. f.) que es una web que permite establecer unos códigos de colores de acuerdo con una serie de necesidades, o bien con una imagen. Se puede elegir un código de color que sea favorable a un tipo de discapacidad concreta (sobre todo en caso de tener alguna discapacidad de tipo visual).

Figura 30

Vista del ejercicio en bruto al importarla en 3DS Max (Fuente: elaboración propia).

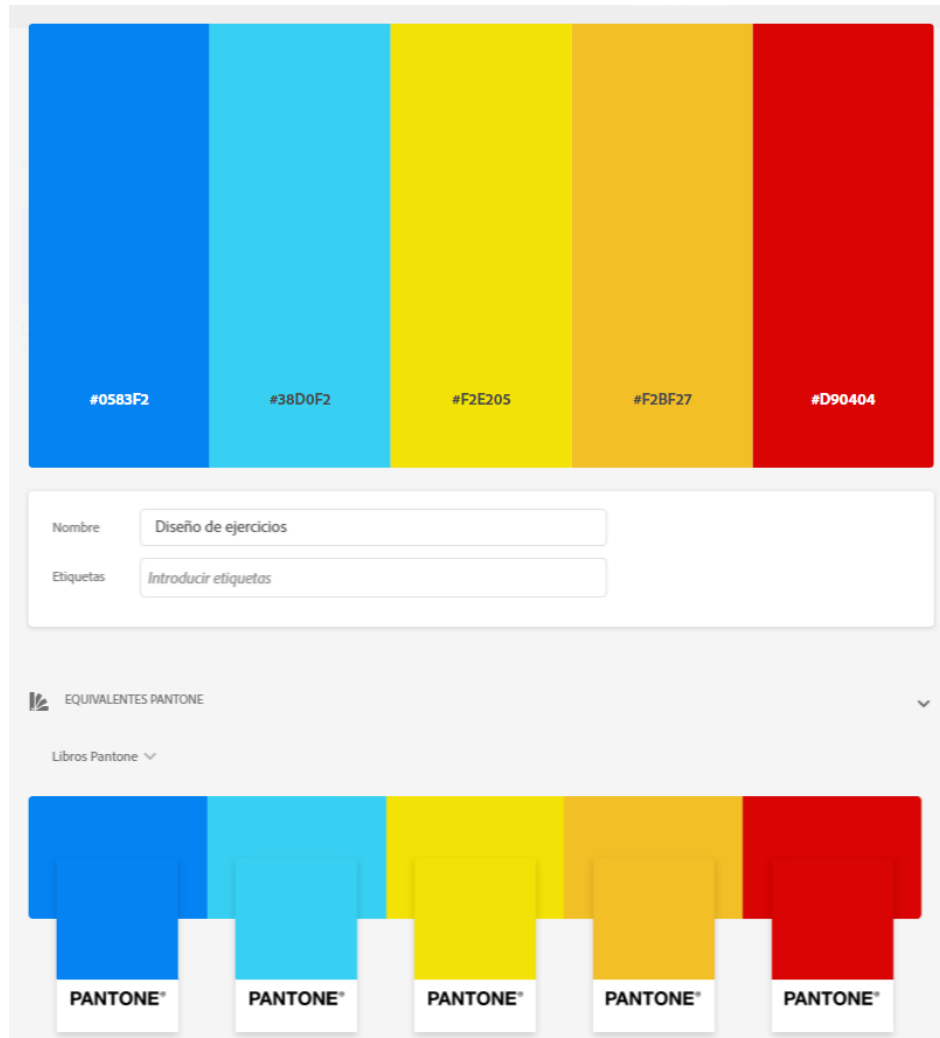


EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 31

Aplicación web Adobe Color <https://color.adobe.com/es/mythemes> (Fuente: elaboración propia).



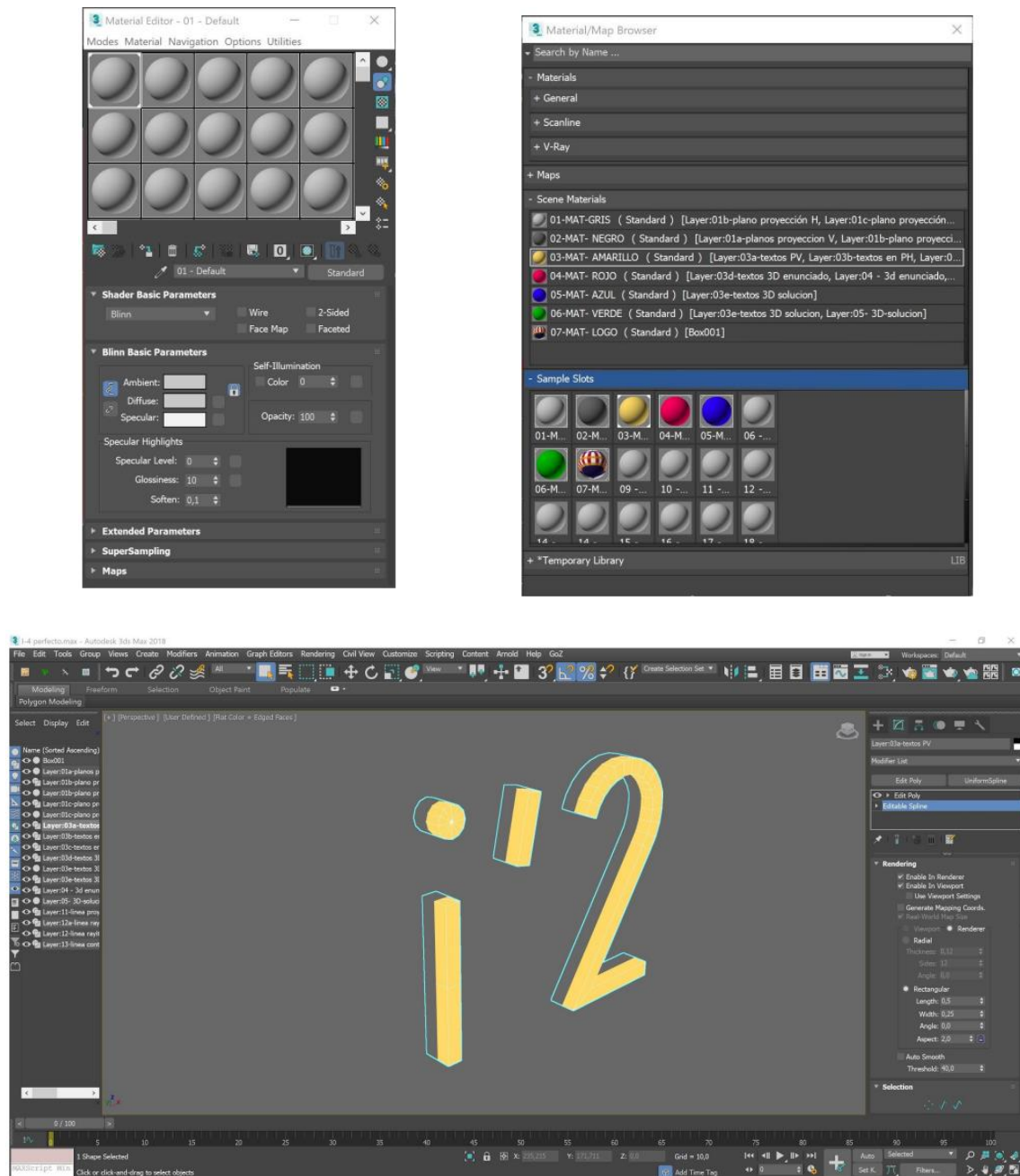
El siguiente paso sería asignar un material, o color más propiamente dicho, a cada una de las capas que conforman el modelo 3D. Simplemente, para cada capa se selecciona un determinado tipo de material/color, se muestra captura de pantalla en imagen siguiente, Figura 32, de manera que cada material asigna un color a cada capa diferenciándola cromáticamente. Posteriormente se le aplica un modificador (“*Edit Poly*”, por ejemplo) para homogenizar la malla buscando la máxima compatibilidad del archivo. En concreto, a las letras que se han utilizado se les adjudicó el material tipo “03-MAT-AMARILLO (*Standard*)” y espesor. La aplicación de modificadores es un paso opcional para mejorar un efecto concreto. Este proceso de edición de mallas mediante modificadores se considera un procedimiento no destructivo, ya que permite la posibilidad de hacer y deshacer el procedimiento de trabajo en cualquier momento.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 32

Ejemplo de asignación de material (color) a la capa letras que se incluye en nuestro modelo y aplicación del modificador Edit Poly para homogeneizar sus vértices (Fuente: elaboración propia).

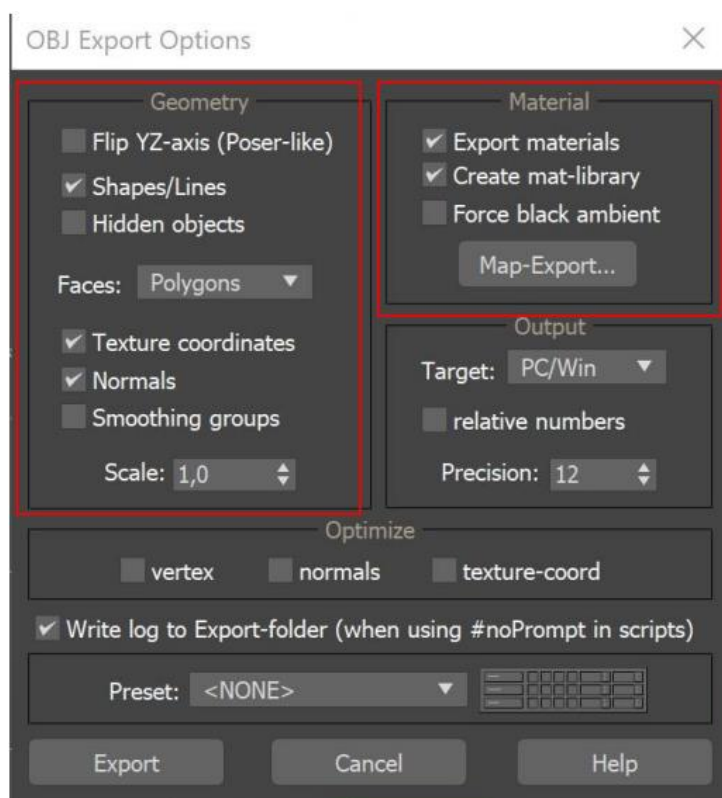


2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

En la Figura 33, se indican o señalan las características que deben marcarse al realizar la exportación para potenciar las características de ese modelado, las cuales se tienen en cuenta en el momento de virtualización.

Figura 33

Ventana de exportación del modelo a formato OBJ con las opciones https://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_.obj_file (Fuente: elaboración propia).



Una vez creado el archivo en formato OBJ, se carga dentro del metaverso a través de la herramienta Twinmotion de Unreal. La aplicación es, entre las existentes, una aplicación a través de la cual se puede interactuar con el objeto a través de un dispositivo tipo gafas 3D, como los que se han mencionado en el capítulo 1. Si, además, se desea que esté disponible en la web para que interactúen otros usuarios o, sea enviado a cualquier otra persona a través de la web, se carga el fichero .OBJ en el recurso Sketchfab, que es un entorno o navegador web de la ya expuesta WebXR que permite visualizar en línea el modelo configurado.

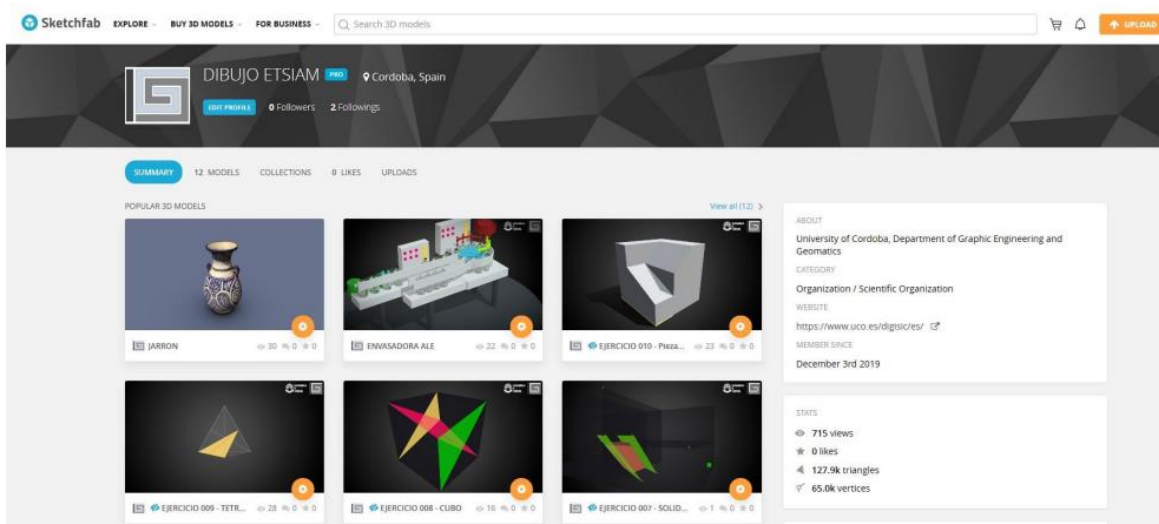
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

En la Figura 34, se presenta el entorno Sketchfab bajo la cuenta del Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba. Esta cuenta permite entre otras funciones: bloquear la visualización de nuestros modelos y permitir que los alumnos la visualicen con sus propios dispositivos.

Figura 34

Entorno web de Sketchfab a través de la cuenta de la UCO (Fuente: elaboración propia).



Dentro de Sketchfab, se orienta la geometría tridimensional y se ajustan las opciones generales que ofrece dicha aplicación web. Las etapas básicas para seguir en este apartado son:

- 1.- Como se observa en la Figura 35, ya cargado el documento se presenta la geometría renderizada dentro de un conjunto de arcos de límite de cámara.
- 2.- Asignación de los materiales o texturas básicas para controlar una serie de características esenciales del modelo virtual.
- 3.- Control de la iluminación, con un tipo de luz determinada que nos garantice una experiencia óptima para el usuario.
- 4.- Ajustes de la escala en RV, (Figura 36), con el fin de adaptar el modelo a la escala, humanizando la visualización de manera que cuando utilicemos el visor la experiencia sea lo más cercana a la realidad posible.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 35

Orientación de la geometría y ajustes generales en Sketchfab. (Fuente: elaboración propia).

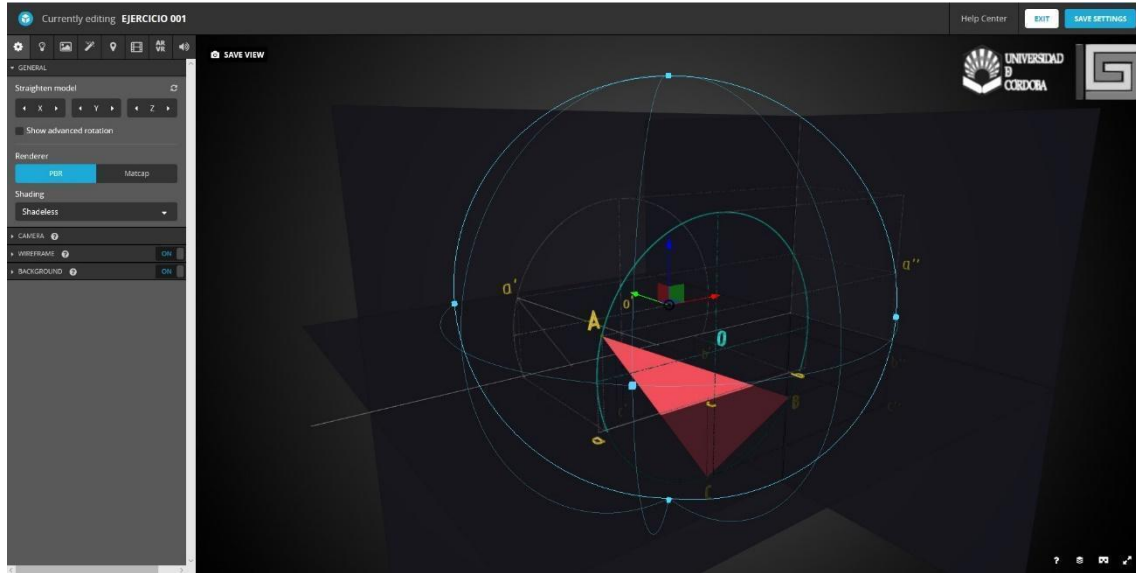
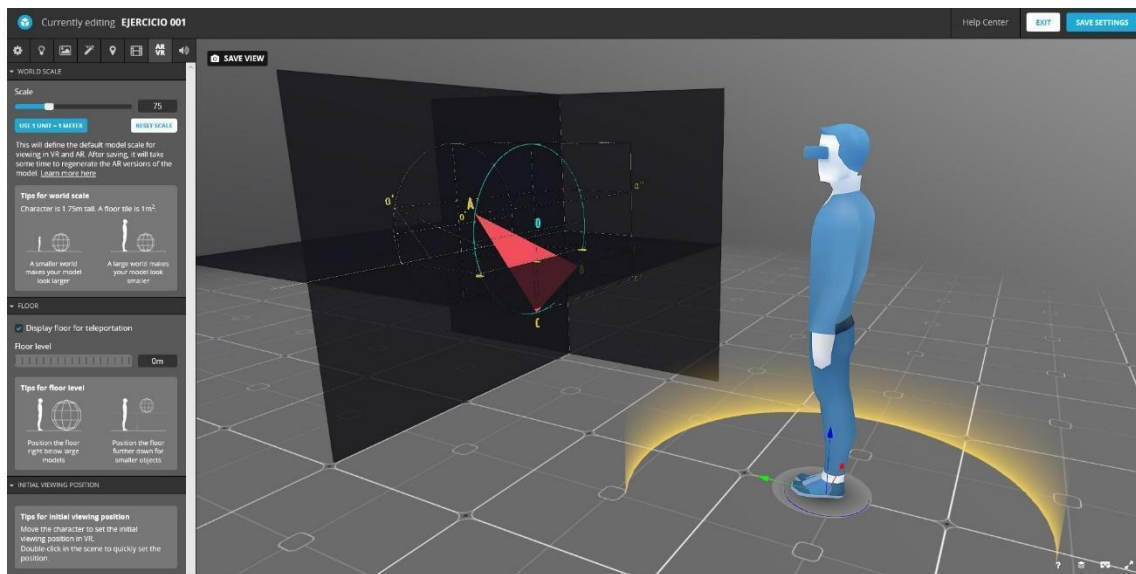


Figura 36

Ajustes, dentro de la aplicación, de la escala real (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

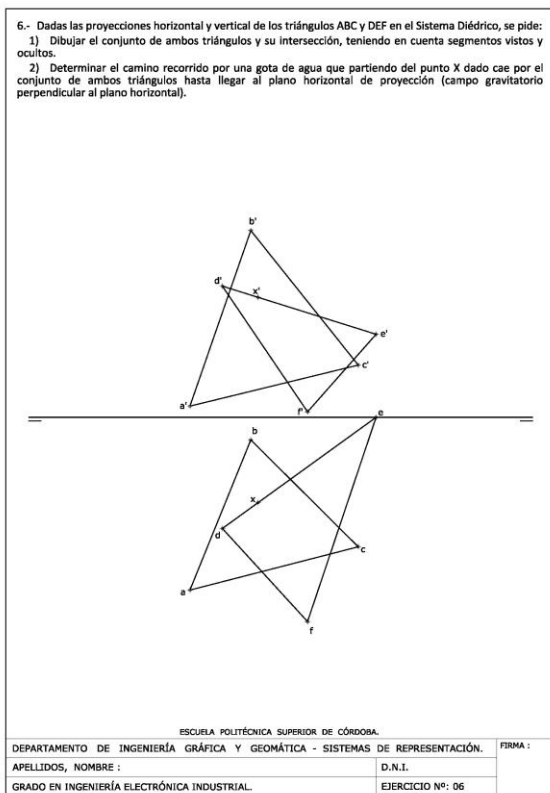
2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

2.4.2. Ejercicio avanzado

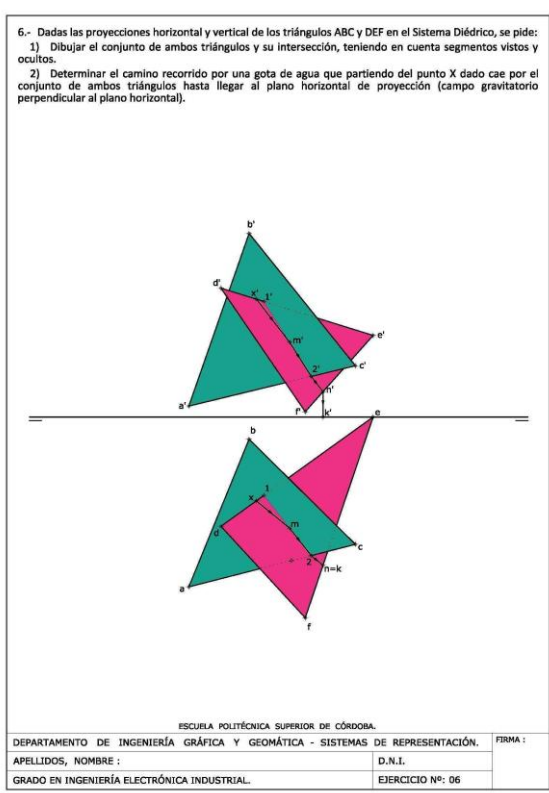
En este apartado se desarrolla la metodología para un caso práctico de virtualización de un ejercicio avanzado de geometría descriptiva para su experimentación en el metaverso. El ejercicio elegido para virtualizar es de dos triángulos, o planos, que se cortan, así como la representación de la trayectoria que recorre una gota de agua que cae por gravedad hasta el plano horizontal de proyección. Como se aprecia en la Figura 37 (a), se describe el enunciado del ejercicio a realizar, mientras que en la Figura 37 (b), se representa el ejercicio resuelto en diédrico, con cada uno de los triángulos su color de alto contraste.

Figura 37

Enunciado gráfico (a) y solución realizada en papel en del ejercicio de Sistema Diédrico propuesto para virtualizarlo en el metaverso (b) (Fuente: Triviño, 2021).



(a)



(b)

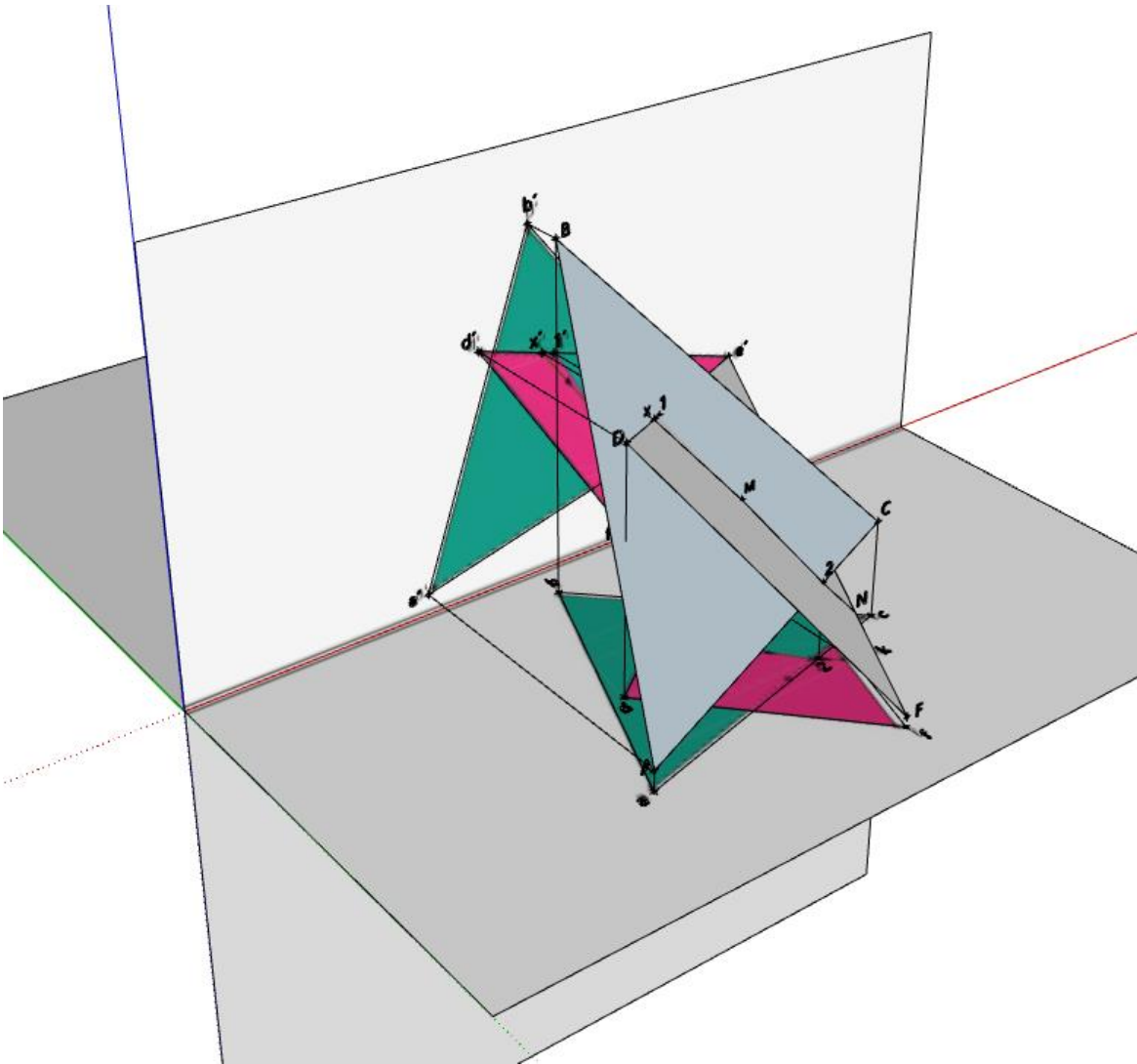
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

1. El punto de partida sería construir esta vez dentro de Sketchup (Figura 38) (pero también podría usarse cualquier otro software libre de CAD) en tres dimensiones y en distintas capas el diedro, ambos triángulos y la trayectoria por gravedad de la gota de agua desde el punto de partida X hasta el plano horizontal.

Figura 38

Geometría por construir dentro de Sketchup (Fuente: elaboración propia).



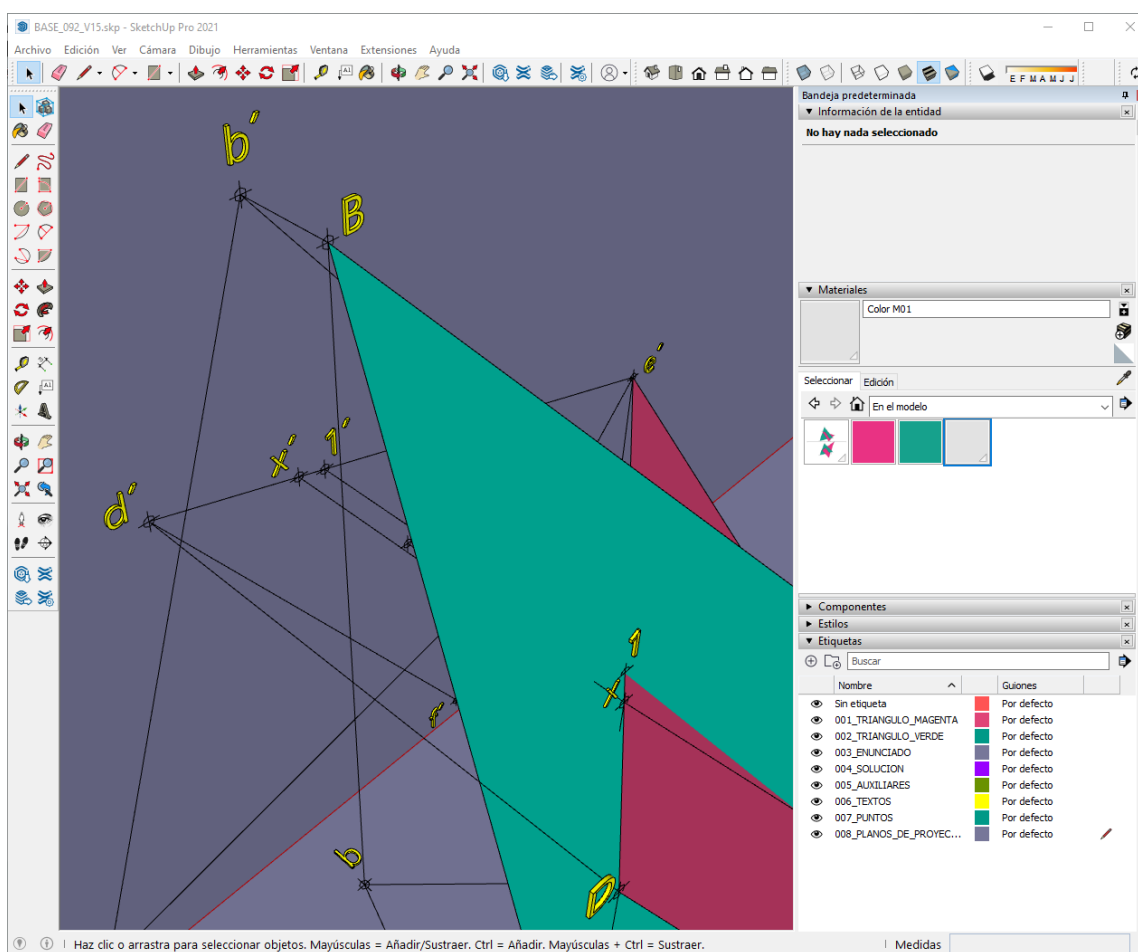
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

2. Se denominan todas las capas vectoriales (Figura 39) que deberán estar claramente fijadas en esta primera fase. Ellas serían: líneas auxiliares, líneas principales, etiquetas de nombres (de los puntos, de las rectas, de los planos, etcétera), es decir, todas aquellas herramientas que utilizamos en el dibujo de dos dimensiones en papel con escuadra y cartabón, buscando que la relación entre papel y metaverso sea lo más habitual posible para el alumnado.

Figura 39

Denominamos cada grupo de geometrías y le asignamos una capa con diferente color (Fuente: elaboración propia).



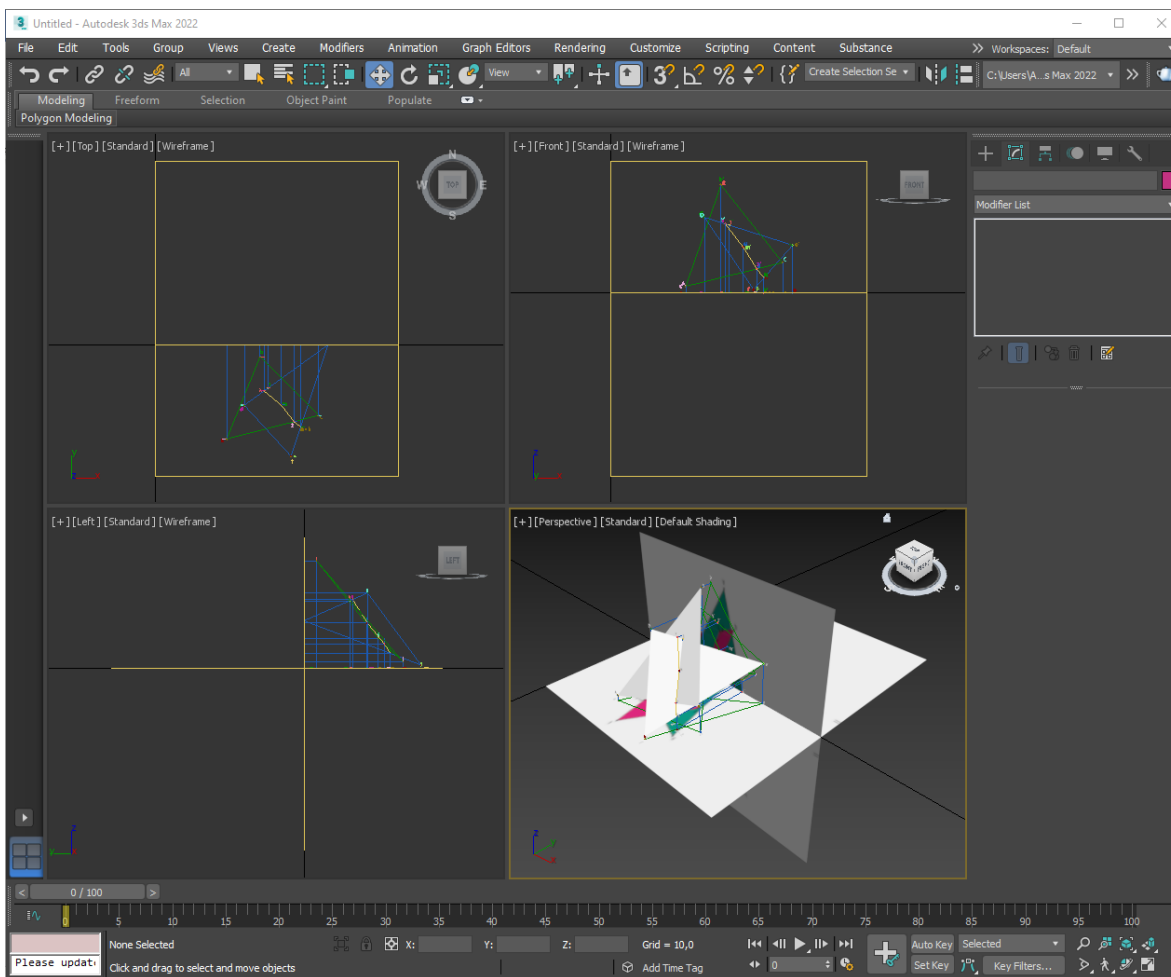
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

3. Se exporta el modelo tridimensional en formato CAD a 3DS Max como se muestra en la Figura 40, donde se aprecian las tres vistas ortogonales diédricas y una cuarta ventana en axonométrico.

Figura 40

El modelo se importa al software de modelado y texturizado 3DS Max (Fuente: elaboración propia).



4. Posteriormente, la fase de preparación de la experiencia de visualización en tiempo real dentro de 3DS Max es vital. Previamente a la incorporación del modelo 3D obtenido en CAD, se podrán visualizar los parámetros asignados al modelo y comprobar posibles errores que pueden ser subsanados antes de su traslado al metaverso.

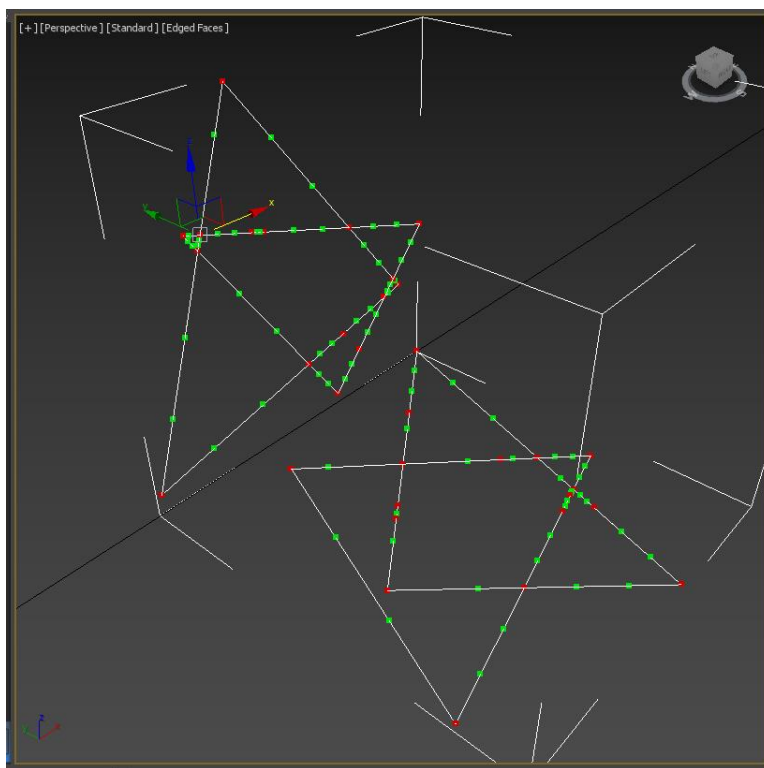
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

5. Los puntos, líneas y planos exportados tienen un carácter sencillo o elemental en dos dimensiones, van a sufrir un proceso de transformación, dándoles entidad tridimensional para optimizar la visualización en el metaverso, ya que tanto los puntos como las líneas no se verían en un espacio virtual en el que el usuario lo experimente mediante dispositivos RV.
6. Para lograr optimizar la sensación de inmersión, se han realizado en el Departamento numerosas pruebas de ensayo-error para obtener unos parámetros estándares y adecuados a la visualización de este tipo de ejercicios. Como se observa en la Figura 41, se debe editar la polilínea soldando los vértices y transformando los espesores de las polilíneas mediante un modificador interno de 3DS Max que convierte las polilíneas bien a paralelepípedos o a cilindros Figura 42 en el espacio, dotándoles de mayor entidad al establecer diferentes pesos a cada uno de ellos.

Figura 41

Edición de la polilínea para soldar todos los vértices (Fuente: elaboración propia).

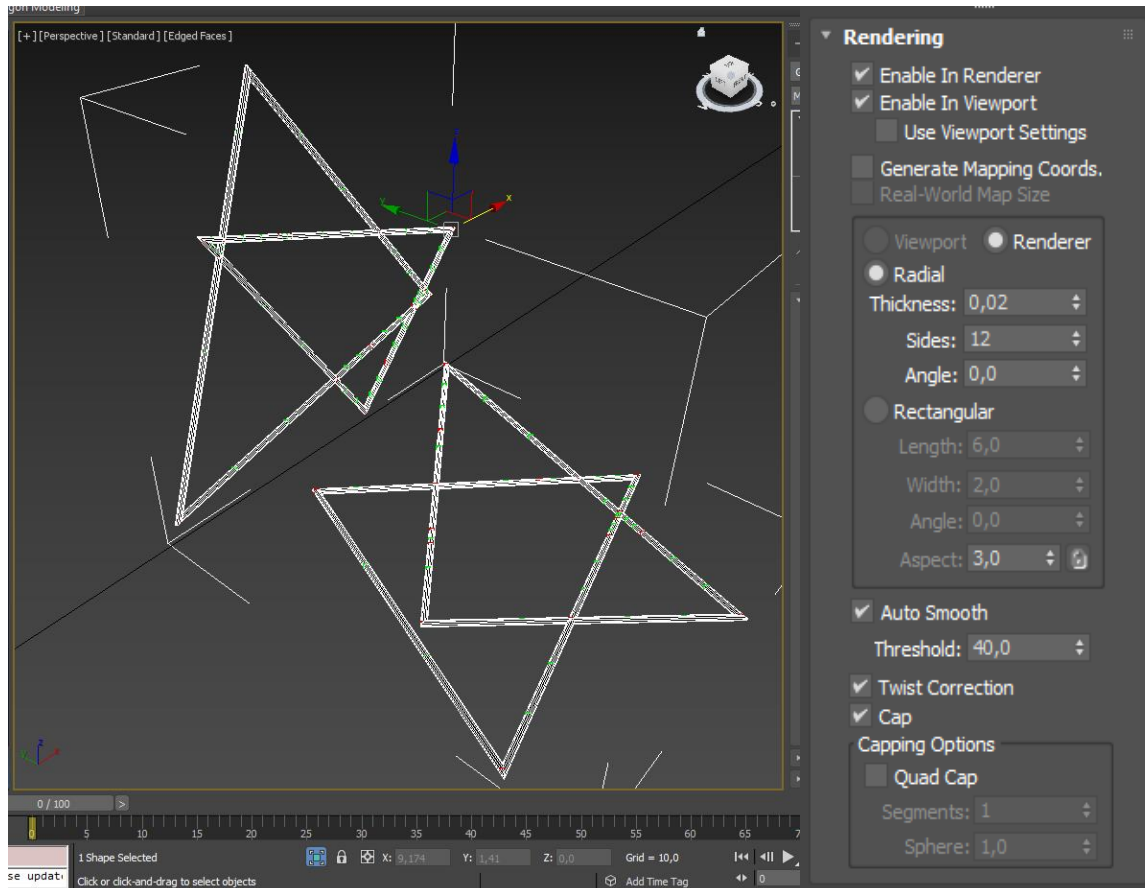


EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 42

Momento en el que se le da mayor entidad visual (espesor radial) a una capa (Fuente: elaboración propia).



7. Así mismo, hay que extrusionar los puntos y las letras (que denominan cada elemento), para que todos estos elementos sean entes virtuales con carácter tridimensional para que se pueda interactuar con todos ellos en el metaverso, de manera que facilite su comprensión por parte del usuario.

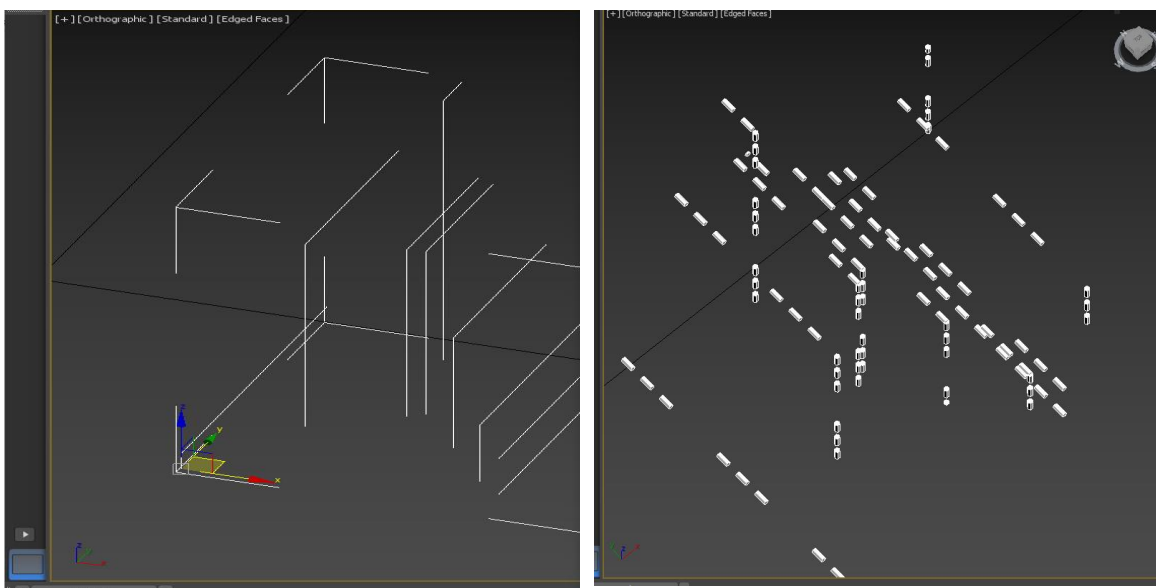
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

8. Posteriormente se han transformado las líneas auxiliares en líneas de puntos Figura 43. Igual que en el paso anterior se busca extrusionar una línea, pero con un estilo diferente a las principales. Deben destacar por su continuidad frente a las auxiliares, en otras palabras, intentar que se asemejen los estilos de línea de objetos 2D a objetos 3D. Para ello, utilizamos un “plugin” o complemento dentro de 3DS Max denominado Dased Light Generator¹¹ o DLG, que simplemente es un generador que transforma cualquier línea continua en discontinua con una serie de parámetros que se aprecian en la Figura 44.

Figura 43

Momento en el que se le da mayor entidad visual a una capa de líneas discontinuas (Fuente: elaboración propia).



¹¹ <https://www.raffaeleschiavullo.com/scripts/scripts.html>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 44

Configuración para nuestro ejercicio de Dased Light Generator o DLG (Fuente: elaboración propia).

select line or editable spline object...

selected line length:

Lines

New dashed line name (editable)

Statistics new dashed line

lines: 0 polys: 0

Measures

dashed lines segments 1

dashed lines length 2,0

distance between lines 1,0

Z offset (only in done mode) 0,0

lines wire colour

Vertex type

Smooth Corner

Skin modifier

apply modifier

Clone

Control spline done modality

Copy Instance Reference

Lines rendering

Enable Render Gen Mapp Coords.

Enable Viewport Real-World Map Size

Radial Rectangular

Thickness 0,1 Length 0,1

Sides 8 Width 0,1

Angle 0,0 Angle 0,0

Interactivity

Freeze

Display properties

Display as box

Frozen in gray

Rendering options

cast shadows

receive shadows

Object ID 0

Material

VRay Standard

Ambient

Diffuse

Specular

Spec lev 100

Gloss 0

Self.Ill. 0

Gen GI Rec GI

INTERACTIVE UPDATE

CREATE DASHED LINE

About / Help / UK GOV Traffic signs manu

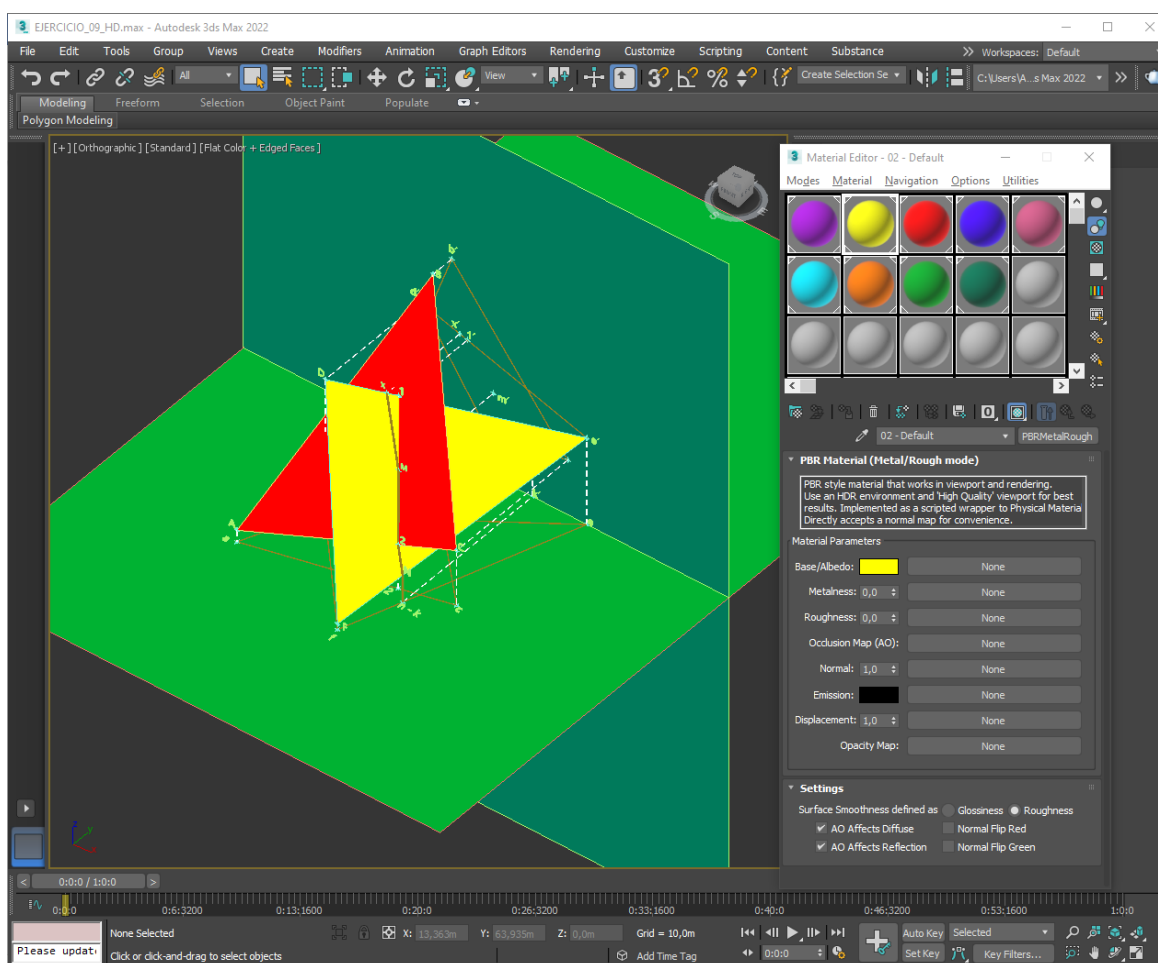
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

9. Aplicación de un código de color inteligible a cada capa, u objeto en su caso, a través de Adobe Color, como ya se ha expuesto en el ejercicio anterior (Figura 45). Es de vital importancia que los colores sean adecuados, fáciles, comprensible y contrastables entre ellos para que la experiencia en el metaverso sea aceptada por nuestros sentidos. Por ello, se eligen estos códigos de color que diferencian claramente los dos triángulos que esbozan los planos por donde discurre la gota de agua.

Figura 45

Asignación de color a un objeto aislado (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

10. Exportar la geometría desde 3DS Max a un formato de intercambio que pueda ser interpretado por la WebXR, mediante aplicaciones JavaScript¹² que permiten que los ejercicios interactúen con dispositivos de Realidad Aumentada y Realidad Virtual, como HTC Vive, Oculus Rift, Google Cardboard u Open Source Virtual Reality, en un navegador web.
11. En este caso, en lugar de usar el formato tipo OBJ, como se observa en la Figura 46, se utiliza el formato de intercambio .FBX¹³, que pertenece a Autodesk. Este último, es un formato de intercambio global de cualquier modelo de animación vía web, de manera que se conecte nuestra creación 3D con el metaverso. El hecho de cambiar, para este caso concreto, el formato .OBJ por el .FBX se debe a que, si bien ambos tienen la misma utilidad para introducir el ejercicio en el metaverso, el .FBX es más avanzado ya que permite introducir animaciones y el .OBJ no. Estas escenas más complejas podrían necesitar movimiento. Para ello, resulta indispensable utilizar este formato.
12. Como se refleja en la Figura 46 el formato FBX requiere una serie de características que se deben editar y que para el ejemplo escogido sería suficiente con los ítems marcados.

¹² JavaScript es un lenguaje de programación.

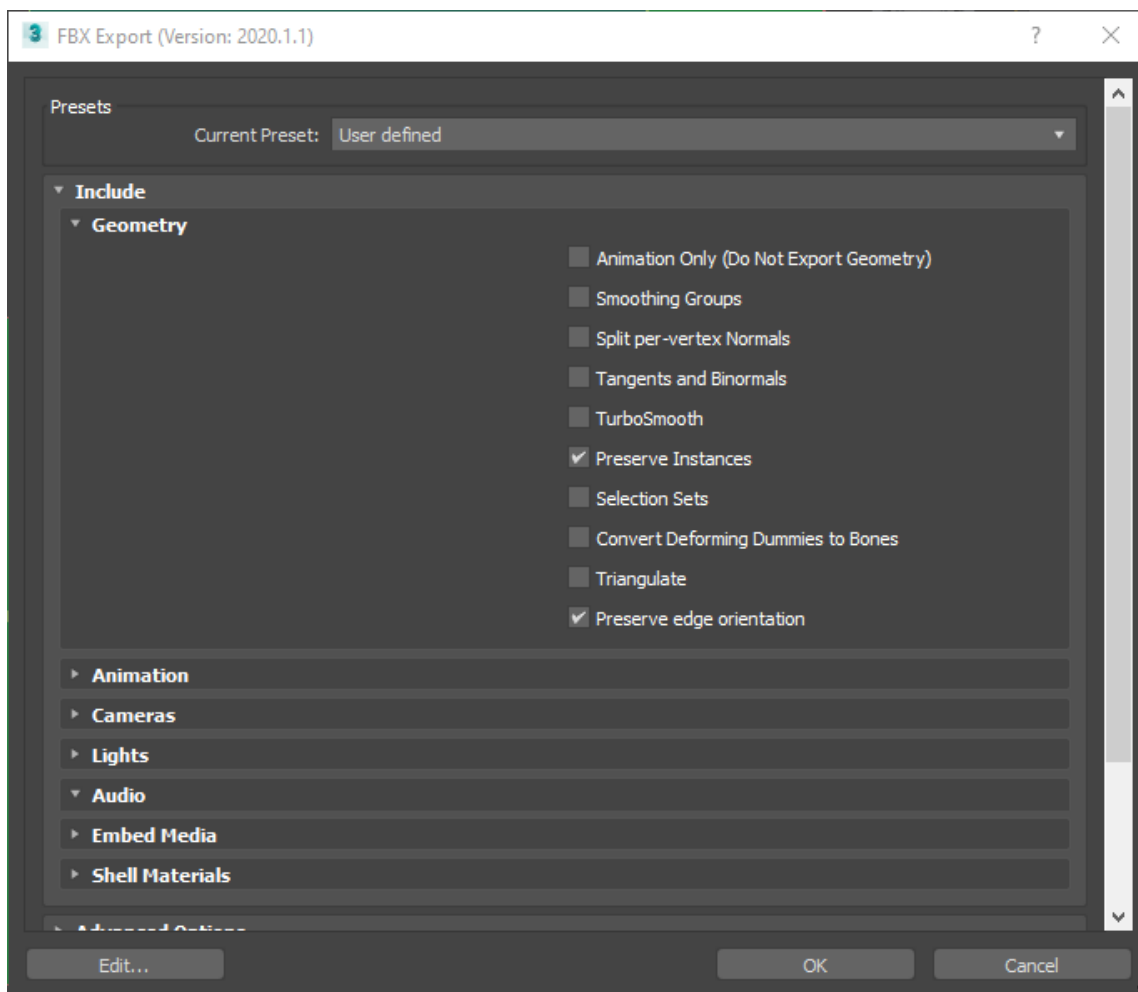
¹³ FBX (Filmbox) es un formato de archivo registrado (.fbx) desarrollado por Kaydara y propiedad de Autodesk desde 2006.

EL METaverso EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METaverso COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 46

Formato de intercambio .FBX (Fuente: elaboración propia).



13. El archivo .FBX, que contiene el ejercicio en cuestión con las características editadas con los parámetros expuestos se carga en el repositorio web, el cual nos integrará el modelado 3D en la WebXR o metaverso en línea. Este paso permite experimentar con el equipo especializado y visualizarlo con un navegador web. Tiene integrado un editor tridimensional sobre el que se permite trabajar.

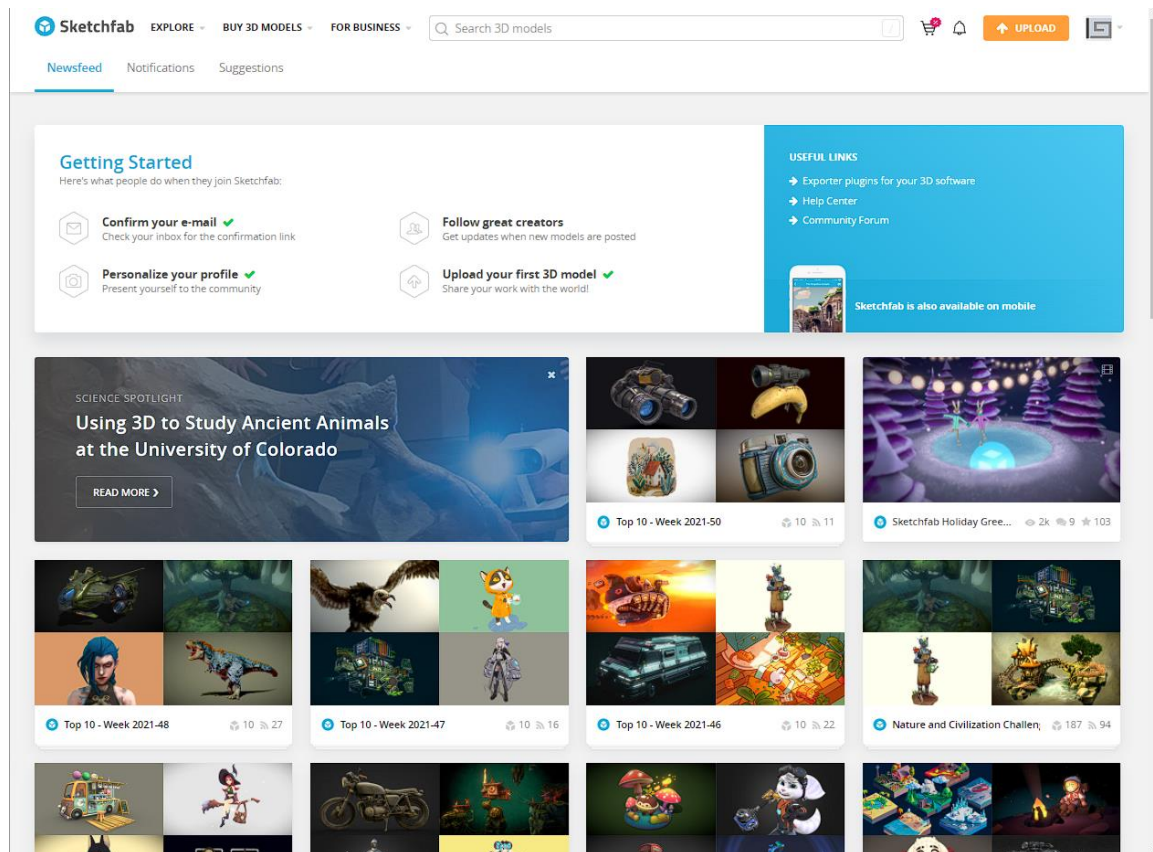
14. Se incluye el .FBX al repositorio de Skechfab, cuya cuenta disponible para esta investigación es *Pro* (Figura 47). Se generó precisamente para esta tesis doctoral a través de un Proyecto de Innovación que se ha desarrollado durante dos cursos dentro del Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 47

Vista de acceso a la plataforma Skechfab mediante registro de cuenta “PRO” (Fuente: Skechfab 2020).



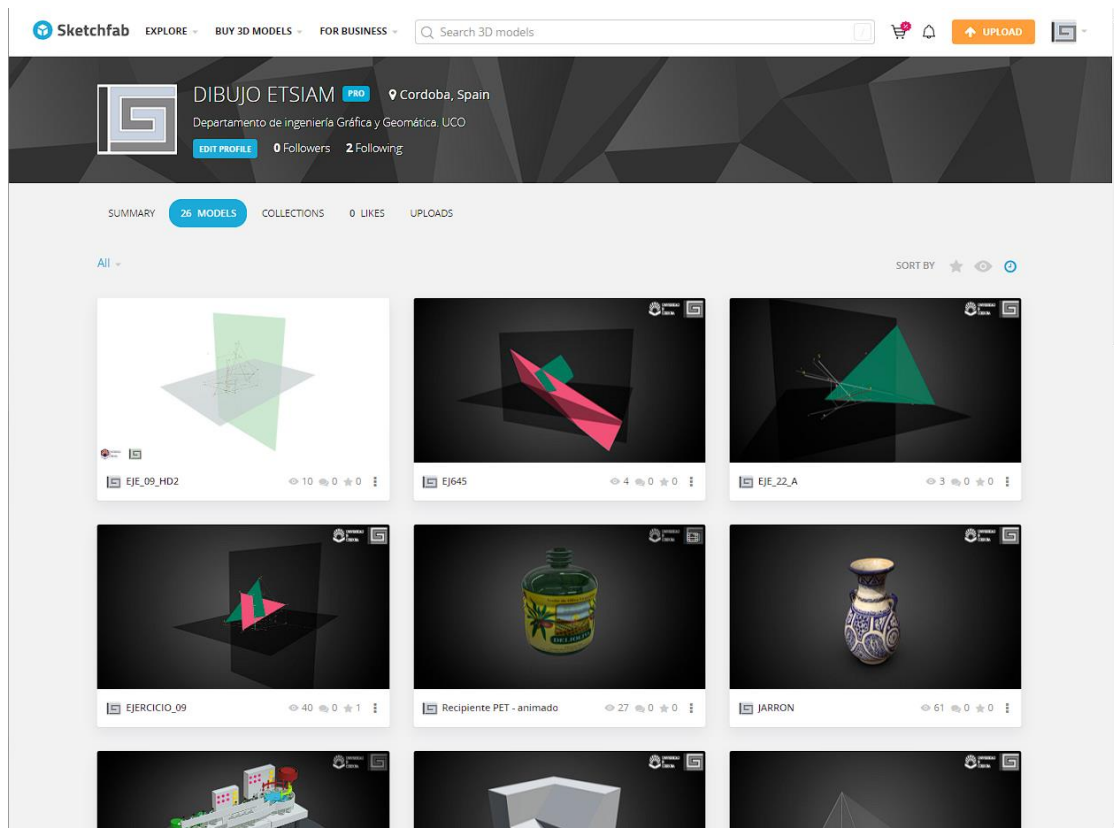
15. En Sketchfab se han integrado, durante todo este período de investigación, los ejercicios realizados de forma paralela, por lo que se trata de un archivo vivo. No obstante, en este caso práctico, se muestra el procedimiento de carga en línea del ejercicio de los dos triángulos que se cortan y la trayectoria de caída de la gota de agua a través de ellos hasta el plano horizontal. Así, en la Figura 48 se muestra la interfaz de Sketchfab con todos los modelos 3D desarrollados.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 48

Repositorio de ejercicios dentro de la cuenta del Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba en Skechfab (Fuente: elaboración propia).



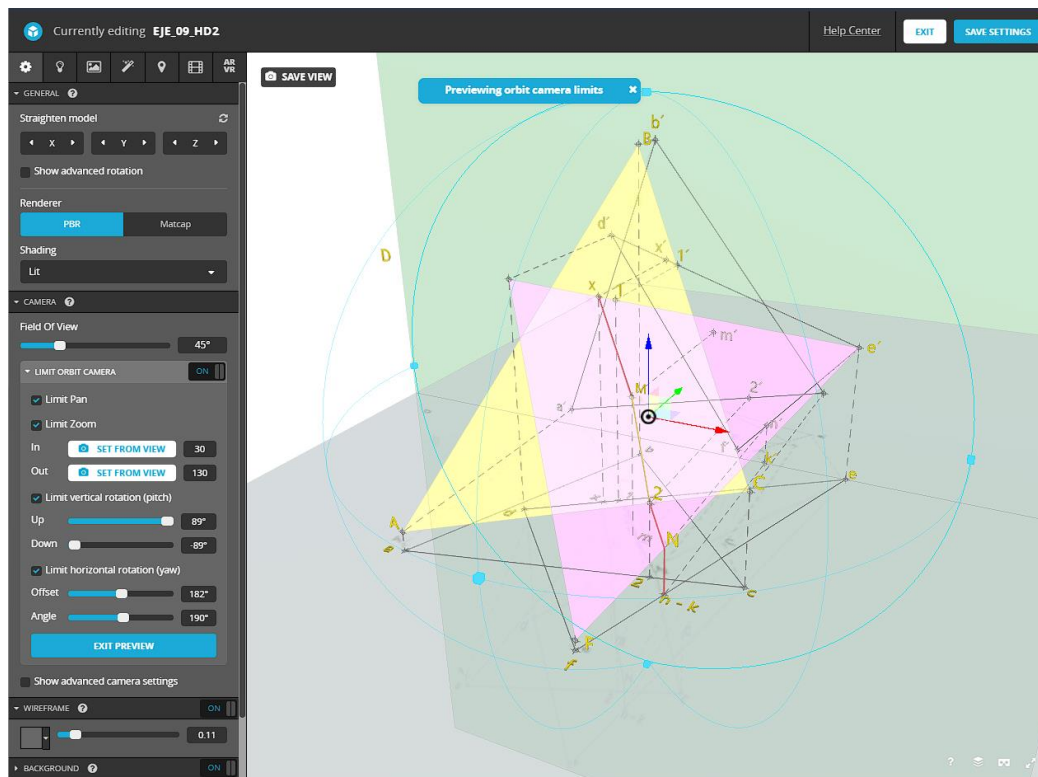
16. No obstante, este caso práctico no finaliza con la incorporación del modelo cifrado en el archivo .FXB en el repositorio Sketchfab, hay que configurar cada uno de los campos de este ejercicio para que la geometría editada previamente en 3DS Max funcione correctamente en el visor virtual.
17. Esta reedición dentro de Sketchfab comienza con la configuración general, que es el primer campo de los siete (Figura 49) que ofrece la interfaz de este repositorio WebXR en la barra de comandos y de operaciones.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 49

Configuración general del repositorio dentro de la cuenta del Departamento en Skechfab (Fuente: elaboración propia).



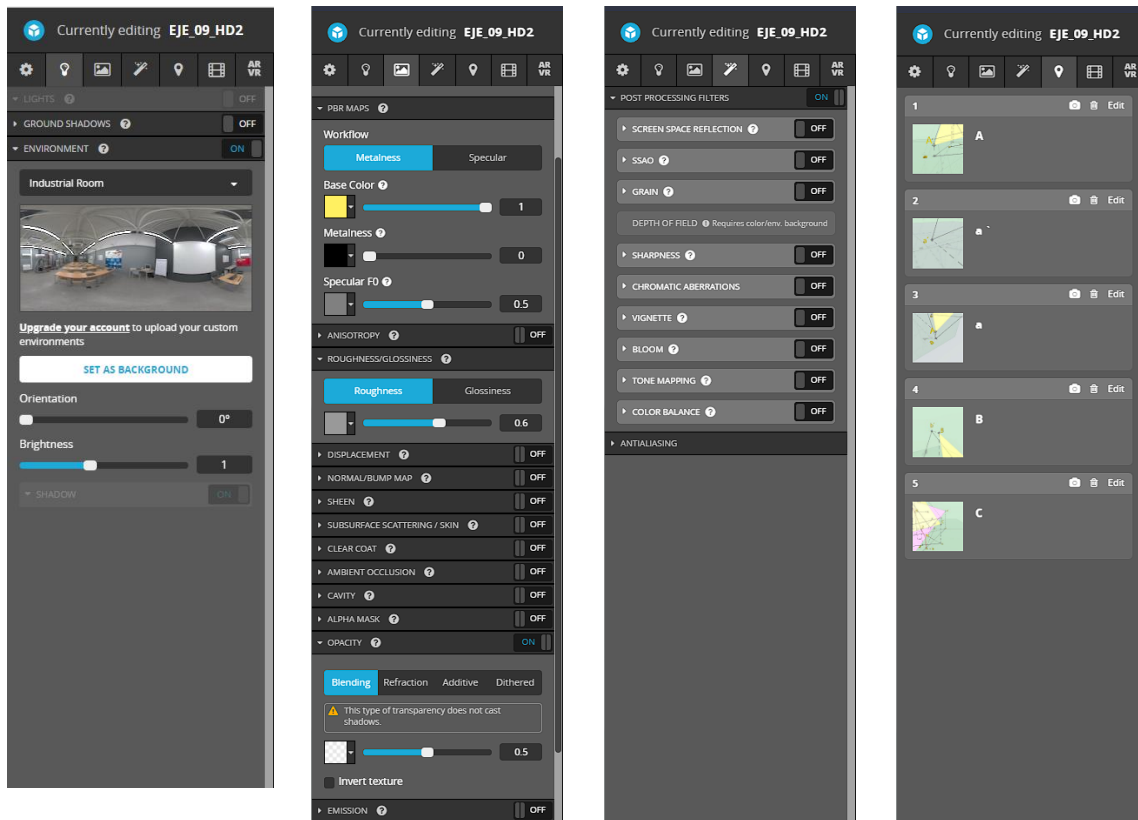
18. En esta configuración, un primer apartado, trata el aspecto general de la imagen. Se establece, por un lado, una orientación, y, por otro, la limitación de la cámara, para que la misma se adapte a la visión del sujeto. Del mismo modo, es necesario ajustar la experiencia que el usuario pueda poseer en el metaverso.
19. En el segundo apartado (Figura 50 a) se configura la iluminación, icono que se encuentra a la derecha de la configuración general. En este apartado se ilumina, es decir, se va a crear un hábitat lumínico al que se trasladará al alumno, que se podrá encontrar en un aula virtual con una sensación de luz artificial o, incluso, en un entorno natural totalmente ajeno a su entorno real. En otras palabras, se materializa un escenario que pueda parecer neutral frente al ejercicio u otro que sí, intencionadamente, juegue un papel determinado en la experiencia virtual en el metaverso.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 50

Reconfiguración en Sketchfab, de izquierda a derecha: (a) iluminación, (b) asignación de materiales, (c) posproducción y (d) anotaciones (Fuente: elaboración propia).



(a)

(b)

(c)

(d)

20. El tercer apartado (Figura 50 b), es clave dentro de este proceso. Gracias a él, se van a asignar los materiales uno por uno, de manera que se cargarán las texturas que se deseen para objetos muy concretos, por ejemplo, tipo madera, hormigón, arenisca, roca, etcétera. No obstante, para nuestro ejercicio concreto, se asigna un color para cada polígono, con un contraste ya expuesto, con las características de transparencia idóneas para que su visión no oculte a los alumnos aspectos claves en la resolución geométrica de la trayectoria de la gota de agua hasta el plano horizontal. El grado de transparencia que se quiera dar a cada uno de los colores de los planos que intervienen hay que fijarlo en este preciso instante, aunque al ser un programa interactivo posteriormente se puede volver a configurar.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

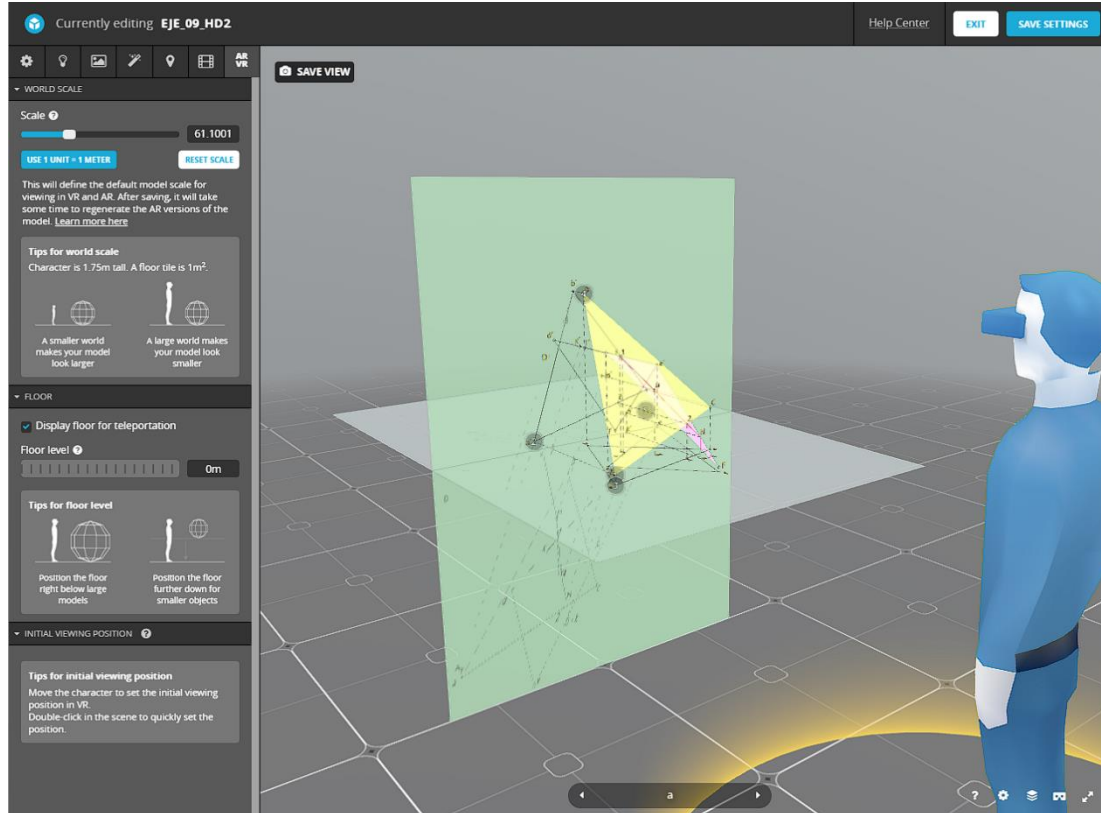
21. El cuarto apartado, proceso de postproducción (Figura 50 c), no es relevante para este tipo de ejercicios de geometría descriptiva, ya que generalmente no se utilizará en este tipo de ejercicios, pues únicamente en determinados casos que se quiera enfatizar en ciertas áreas de la escena podría ser de aplicación.
22. El quinto son las ediciones de anotaciones (Figura 50 d) y consisten en añadir elementos estáticos o puntos fijos cuyo fin es guiar al alumno de manera tutorizada por el metaverso, es decir, el ejercicio se restringe a vistas concretas que faciliten al alumno la comprensión de este. De esta manera, aunque el alumnado pueda moverse de manera autónoma dentro de todo el escenario, a través de estas anotaciones se le indican puntos claves, los cuáles son los pasos que debe seguir para ejecutar correctamente la geometría requerida. En el caso concreto de la gota de agua que discurre por gravedad sobre los planos de los triángulos, se anota el punto X de inicio, desde donde parte la gota, después se le muestra la línea de máxima pendiente, que se detuviese de manera consciente en la recta intersección entre los dos triángulos, y así hasta que se llegara al fin del ejercicio.
23. El sexto apartado sería la animación, lo cual para este tipo de modelados de geometría descriptiva no se ha considerado relevante, por lo que no se detalla nada práctico acerca de esta orden.
24. El último punto, el séptimo, considerado muy relevante para ejercicios como el que se están desarrollando. Tal y como se observa en la Figura 51 se trata del campo de la RA y RV, se representa el sujeto físico integrado en el escenario con las gafas en una escala apropiada. Se va a situar el plano horizontal de manera que la visión sea real, el ejercicio sea perfectamente manipulable y la experiencia sea totalmente creíble, se fija la posición inicial en la que se va a encontrar el alumno cuando acceda al metaverso. En realidad, en este instante se está escalando el metaverso a la medida de un humano con el fin de que el usuario se halle en un entorno cómodo y natural, que no le resulte ni hostil ni extraño para que el escenario no influya negativamente en el desarrollo y comprensión de la actividad de geometría descriptiva.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 51

*Previsualización en Sketchfab: escalado de Realidad Virtual y Realidad Aumentada
(Fuente: elaboración propia).*



25. Una vez hechas todas las comprobaciones y guardadas las correspondientes configuraciones, esto se puede compartir con los alumnos a través de un enlace para que lo experimenten, bien con su móvil RA o con las gafas RV, siendo estas últimas, evidentemente, las óptimas para desarrollar los avances que presenta el metaverso.

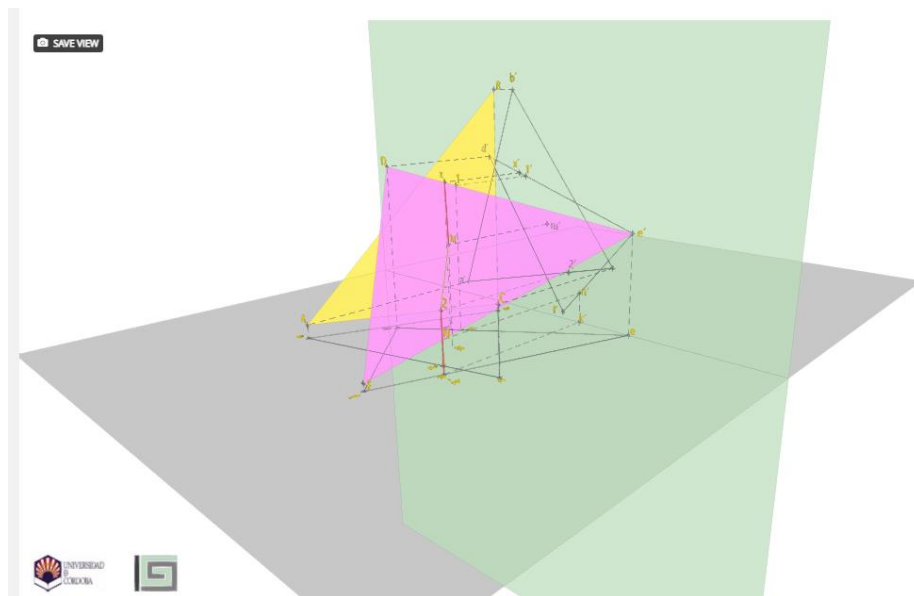
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

26. En efecto, en este punto estamos preparando el metaverso en sí, puesto que estamos creando un vínculo “*on line*” en el que el alumno va a poder sumergirse virtualmente. Él mismo entra dentro del ejercicio, no simplemente lo visualiza en una pantalla 2D, que también lo permite Sketchfab, sino que esta aplicación será la conexión de ese ejercicio con ese metaverso que estamos construyendo. Por tanto, en esta fase la situación “se dispara”, en otras palabras, con un simple enlace online, con una línea de texto de apenas veinte o treinta caracteres. El propio Sketchfab genera ese código para compartir vía redes sociales, correo electrónico, plataforma Moodle, Facebook, Whatsapp, Instagram y un largo etcétera.
27. En la Figura 52 y la Figura 53 se observa el ejercicio accesible al alumnado con cualquier tipo de tecnología de visualización disponible, sea cual sea su condición social, es decir, en el momento que digitalizamos nuestro modelo en la WebXR, democratizamos la accesibilidad de este ejercicio y de cualquier otro, por supuesto, de forma que si el alumno tiene un dispositivo móvil podrá visualizarlo y, en el caso de que disponga gafas RV, podrá integrarse en el ejercicio y sentir plenamente la experiencia virtual.

Figura 52

Ejercicio de geometría descriptiva en el metaverso preparado para compartir con el alumnado (Fuente: elaboración propia).

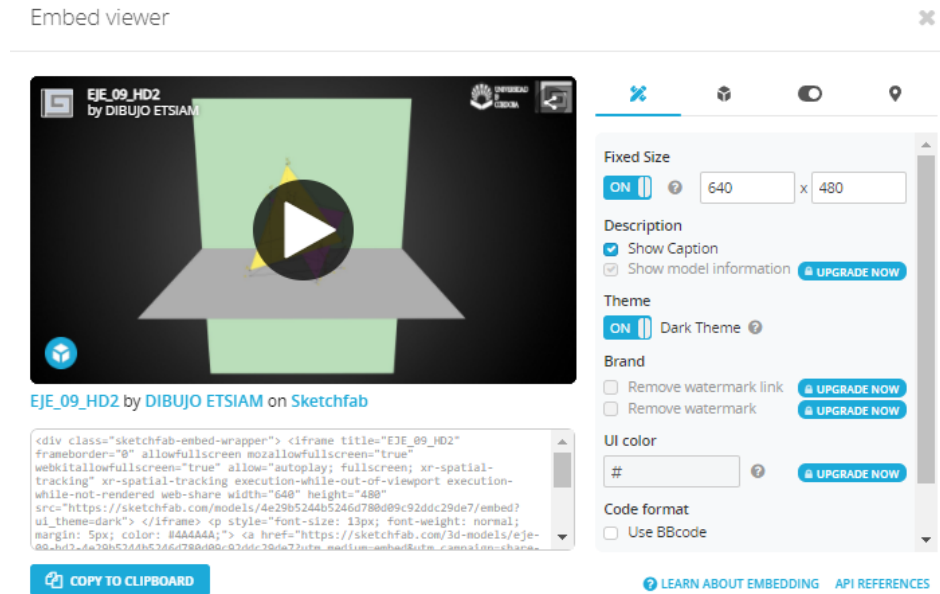


EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 53

Código en línea para integrar el modelo vía web (Fuente: elaboración propia).



2.5. Metodología específica para elementos patrimoniales

A lo largo de este apartado se muestra el proceso de reconstrucción virtual para trasladar al metaverso dos ejemplos utilizando técnicas fotogramétricas de corto alcance aplicadas a la conservación del patrimonio.

Durante este proceso se genera un modelo completamente digital de un elemento utilizando múltiples fotografías del modelo físico sin apenas tocarlo. La fotogrametría se utiliza en múltiples disciplinas y el procedimiento varía en función del uso final. En nuestro caso el procedimiento que se ha seguido es totalmente escalable, pudiéndose utilizar para obtener modelos con muy alta resolución, así como aproximaciones no tan detalladas pero que cubran grandes dimensiones.

En el capítulo 6 anexo se describe con detalle el equipo necesario utilizado durante el trabajo que se ha llevado a cabo en esta tesis doctoral para la producción de los modelos, así como el software necesario. Es elección del investigador realizar un balance entre eficiencia, coste y calidad.

A continuación, se describen los dos motivos patrimoniales elegidos. Y, con posterioridad, se detalla en un subcapítulo el procedimiento para cada caso aplicado al patrimonio arquitectónico:

1.- En primer lugar, una pieza, encontrada durante una de las campañas arqueológicas, que se halló en las ruinas del castillo de origen medieval.

2.- En segundo, las ruinas del Castillo, entendiéndose por el perímetro de la superficie en la que se ubican los restos de dicho castillo en la actualidad junto con las edificaciones actuales. Este levantamiento servirá de base de trabajo para contextualizar nuestra torre del Homenaje.

El procedimiento, en ambos ejemplos, se divide en dos fases de trabajo bien diferenciadas: la captura (o trabajo de campo) y el procesado de la información (o trabajo de gabinete).

En la captura realizamos la toma fotográfica desde todos los ángulos posibles y demás anotaciones como la escala de los objetos y la correcta exposición.

Durante el trabajo de gabinete se procesan las imágenes y, con los datos de apoyo, se genera la malla poligonal y sus texturas correspondientes para, en última instancia, integrarlas en el metaverso.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

2.5.1. Virtualización de pieza de escala museística.

En primer lugar, se expone la reconstrucción virtual de la pieza que se observa en la Figura 54, un quemaperfumes de origen medieval que apareció en las excavaciones arqueológicas llevadas a cabo en las ruinas del Castillo de Montilla.

Figura 54

Quemaperfumes medieval visto desde distintos ángulos. Tomas fotográficas tomadas en el propio laboratorio del museo (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Para abordar la virtualización de un objeto real de tanto valor patrimonial ha sido necesario estudiar en la pieza elegida dentro de su contexto histórico y arquitectónico, el cual corresponde con una época de notable interés para la ciudad de Montilla.

Tabla 1

Tiempos dedicados a las diferentes tareas para la producción del modelo.

Cantidad	Días de trabajo	Descripción de la tarea
1	7	Estudio y la documentación de la pieza
1	2	Organización del material de trabajo, preparación de equipos, y la obtención de los permisos necesarios
1	1	Configuración del laboratorio en el que se realizaron las tomas fotográficas (Trabajo de campo)
1	1	Equilibrado/compensado de las tomas fotográficas y su alineación. (Trabajo de gabinete)
1	2	Re-topología. (Trabajo de gabinete)
1	1	Configurar los diferentes mapas de textura. (Trabajo de gabinete)
1	2	Exportamos el modelo a web, papel, metaverso, etc... (Trabajo de gabinete)

La pieza elegida (Figura 54) se localiza en la sección medieval del museo y está catalogada como “lámpara”, lo cual se debe, probablemente a la diferencia de color entre la parte superior o receptáculo, y la parte inferior, visiblemente más clara. De manera que se distingue una franja negra en el límite de ambas. Esta diferencia de color se presupone a la impregnación de aceite, en el caso de que este hubiera sido utilizado como combustible para la iluminación, o de otro combustible, usado con una finalidad diferente. Fue encontrada en el recinto del castillo del Gran Capitán de la ciudad de Montilla. Es de piedra arenisca, y forma más bien cúbica, cuyas dimensiones aproximadas son de 16 cm de lado, y hueca, como si se tratara de un receptáculo o recipiente. Desgraciadamente está incompleta. Aunque lo que se conserva proporciona información más que suficiente para interpretarla. En efecto, en las dos caras conservadas tiene un programa iconográfico que, con toda seguridad, debía continuar en el resto de las caras perdidas.

En base a lo observado, no parece una lámpara de aceite, sino un objeto fabricado con el fin de contener algo, especialmente un líquido o fluido. Por otra parte, en la cultura mediterránea esta función la desempeñaban los candiles en cada una de sus diferentes tipologías (Torremocha Silva & Martínez Enamorado, 2003).

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Además, si se analiza la pieza con detenimiento, se comprueba la diferencia de color entre la cazoleta y el resto de la pieza. Por efecto de la combustión queda marcada con una línea muy oscura que la zona de contacto con el fuego, señalando la disminución de temperatura, lo que indica una zona de exposición directa a las altas temperaturas, provocadas por las llamas. Por último, de haber sido un recipiente para aceite, además de no estar señalada la zona de combustión, la piedra arenisca, que presenta un alto índice de porosidad, estaría totalmente impregnada con el mismo, afectando a su color de forma uniforme.

Asimismo, es sabido que los braseros eran una pieza común en el ajuar de la casa hispanomusulmana y cristiana bajomedieval (Torres Balbás, 1934). Podían desempeñar diversas funciones. Los de mayor tamaño servirían como calefacción de las estancias, mientras que los más pequeños, como es el caso de la pieza que se conserva en el Museo de Montilla, se podían utilizar para calentar las manos, mantener calientes los alimentos o quemar plantas aromáticas y perfumes. Podían ser metálicos o labrados en piedra arenisca. Estos últimos eran muy frecuentes (Pizarro Gómez, 2021), como parecen indicar los numerosos ejemplares hallados en la Alhambra, ya que la piedra, acumulaba y mantenía mejor el calor, además de ofrecer un soporte resistente a las oscilaciones térmicas provocadas por las llamas.

Por todos los argumentos expuestos anteriormente, se deduce que se trata de un pequeño brasero, en concreto un quemaperfumes, dedicado a la incineración de hierbas aromáticas o especias olorosas. Este objeto, que se podría haber hallado en cualquier estancia noble del castillo, desde la capilla hasta los dormitorios o salones, tenía la función de perfumar dichas estancias y con frecuencia se encendería como símbolo de hospitalidad hacia las visitas de alto rango.

Observando la iconografía de la pieza, se puede distinguir en las caras que se conservan con nitidez, la imagen de un castillo y una especie de rueda de la que salen unas hojas que se dirigen a los vértices de la pieza (Figura 54). En cuanto a la rueda, en realidad, se trata de la denominada rosa hexapétala (también llamada rosácea, roseta o ruedecilla céltica). Es un elemento con un elevado contenido simbólico que se ha transmitido a través de la historia vinculada a las más diversas culturas y civilizaciones (Pérez, 2014).

Muchas interpretaciones se inclinan a que este motivo es una alegoría de la luz del sol, remontando su existencia a la Edad del Bronce, cuando proliferaron los cultos solares. Probablemente, igual que los trísqueles y esvásticas fueron utilizados como símbolos protectores. En particular la rosa hexapétala se encuentra con frecuencia en las estelas funerarias celto-romanas, así como en mosaicos, pinturas y cerámica.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

El símbolo de la rosácea, como “ícono de la vida eterna”, tiene sus derivaciones dentro del arte cristiano europeo, en sus dos variantes más conocidas: una como crismón y otra como rosetón. El primero de ellos, junto con el pez, es uno de los primeros símbolos cristianos, mucho antes de ser considerada la propia cruz y todo lo que ella representa; mientras que la evolución de la rosácea en los templos cristianos europeos se aprecia en los rosetones de las iglesias y catedrales, qué no son sino el resultado de una multiplicación de los pétalos. Esa abertura dentro de la arquitectura románica y gótica se vincula con la simbología de la luz que penetra en el templo e incide sobre el altar mayor. Este carácter simbólico de la rosácea se ve acentuado con la presencia de cuatro hojas de hiedra, una planta que la mitología asociaba a la inmortalidad, a la virtud y a la fama.

Por otra parte, en España, cualquier emblema o escudo tenía representado la imagen de un castillo, de tal manera que presenta el territorio o alude básicamente al reino de Castilla. Es lo que en heráldica se denomina un signo parlante (HERÁLDICOS, 2012), que se refiere al territorio que representa o a la denominación del reino, aunque posteriormente el castillo se vea incluido en los blasones familiares, en cuyo caso simbolizaba la fortaleza de la virtud, el poder, la nobleza antigua, la grandeza y elevación de espíritu.

Por tanto, la pieza objeto de estudio y representación virtual, en definitiva, se trata de un quemaperfumes tardomedieval, con talla en relieve de figuras claramente simbólicas.

De esta manera, una vez concluida la parte de documentación histórica y justificación analítica de la visualización real de la pieza, se describe el proceso de virtualización de la misma para incorporarla al metaverso a través de fotogrametría de corto alcance, en lugar de crear una geometría aproximada o equivalente directamente en CAD como se ha procedido en los ejemplos anteriores.

1. En un primer paso, se fotografía la pieza desde todos los ángulos de visión posibles, además se toman anotaciones como la escala del objeto y la correcta exposición lumínica mediante la configuración de la cámara. Para ello, se ha utilizado: un soporte giratorio automatizado, como se puede observar en la Figura 55, sobre una base estable de madera apoyada sobre caballetes, tres focos de luz equipados con lámparas tipo LED de 135W y 5500K, que nos proporcionan la luz suave y difusa, un fondo blanco de fieltro, regla o escala de medida, colorchecker passport para calibrar la colorimetría de la imagen, trípode manfrotto befree GT y cámara réflex digital de 24.2 Mp Nikon D5300 Kit con objetivo AF-P 18-55mm VR.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

2. Se deben tomar unas premisas preliminares para configurar la cámara en modo manual y ajustar la apertura del diafragma, la velocidad de obturación óptima con el propósito de obtener imágenes lo más nítidas posibles y con mayor profundidad de campo.

Figura 55

Soporte giratorio automatizado sobre una base estable de madera (Fuente: elaboración propia).



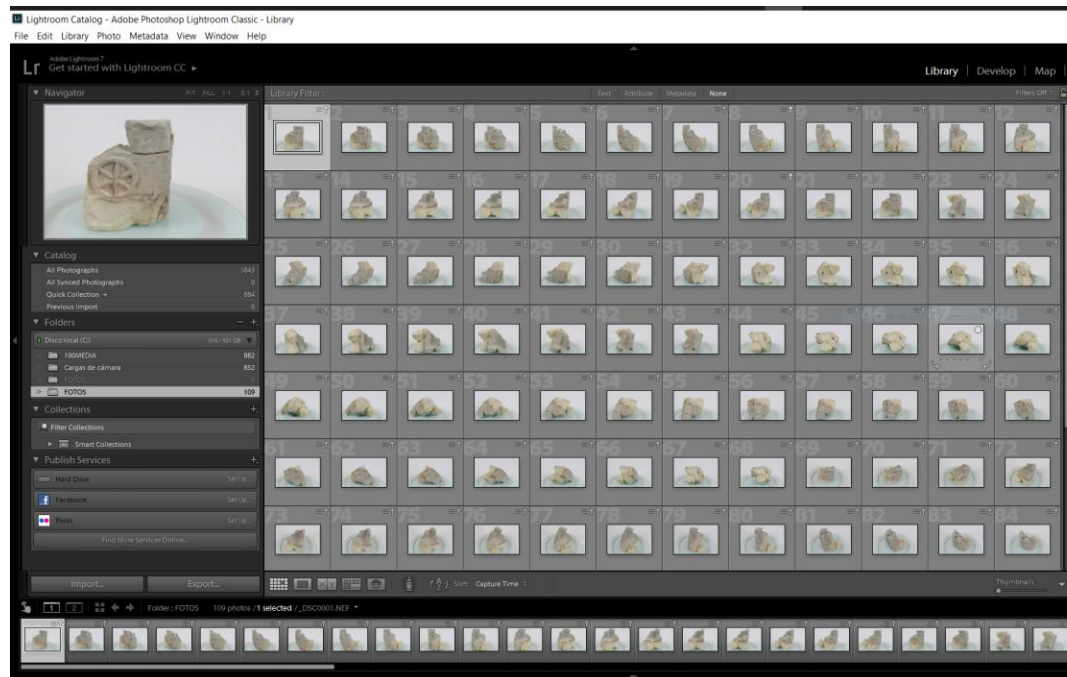
3. Se realiza el correcto equilibrado de balance de blancos para compensar la exposición dentro de Adobe Lightroom como vemos en la Figura 56. Posteriormente se envía las imágenes al programa de reconstrucción para que el proceso de alineación sea lo más nítido posible.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 56

Cada una de las fotografías del Quemaperfumes cargadas Adobe Lightroom para equilibrar las imágenes (Fuente: elaboración propia).



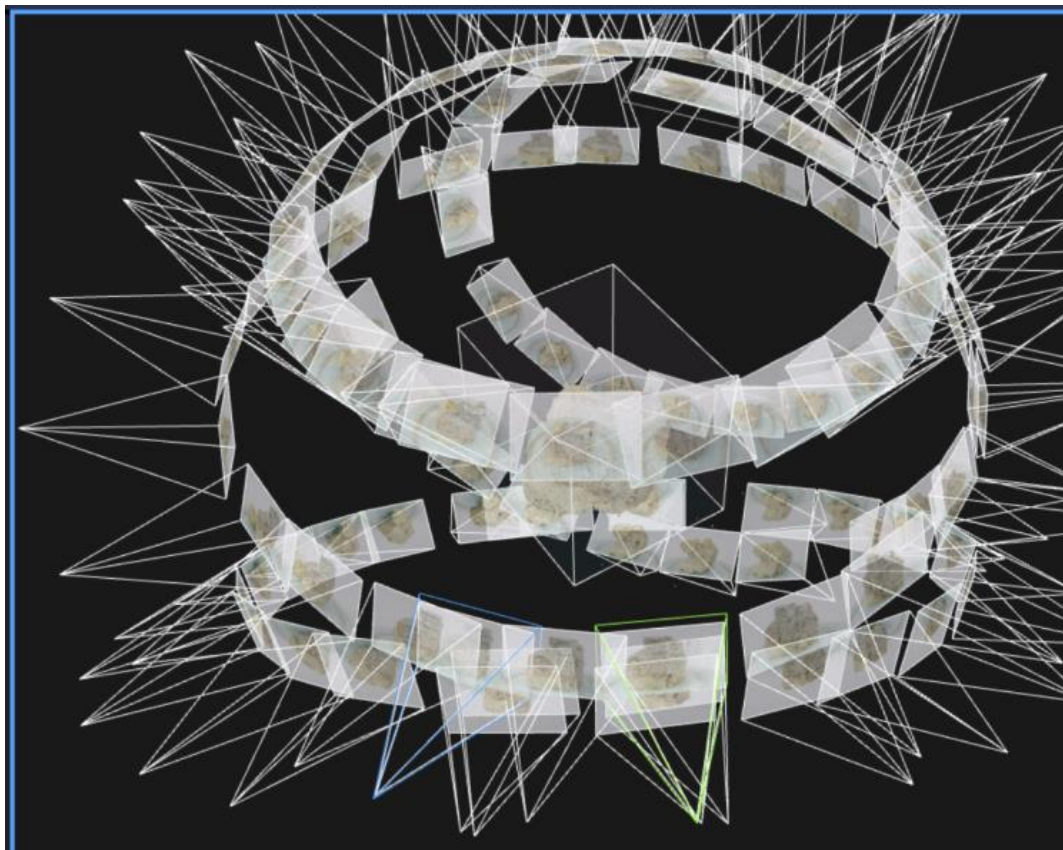
4. Para el quemaperfumes, se realizan en total 109 fotografías de la pieza, la cual ha sido colocada en un aparato giratorio cuyo eje de giro ha sido desplazado en dos ocasiones, de manera que, entre toma y toma, hemos girado el objeto 10° para garantizar un solapamiento entre el 70 – 80% de las mismas. De hecho, una de las estrategias a la hora de escanear una pieza consiste en recorrer un perímetro alrededor del objeto que se denomina bucle fotográfico de captura "BC" (Figura 57) en la que se establece una variación fija y determinada entre estacionamientos de toma, de manera que, en cada fotografía, el objeto debe quedar totalmente centrado en la imagen. Para obtener mejores resultados, se pueden realizar más BC desde ángulos diferentes. Estas imágenes le aportan al software de fotogrametría un marco de trabajo básico que se utilizará para alinear y calcular la profundidad de las tomas más cercanas.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 57

Alineación y ajuste de las fotografías tomadas en Reality Capture. En la imagen se pueden apreciar los diferentes “bucles fotográficos de captura” BC (Fuente: elaboración propia).



5. Una vez capturado el marco básico se continúa con las tomas de medio y corto alcance. Si el primer BC está aproximadamente a 3 m del objeto, el de medio alcance se situará 1,5 m y el de corto alcance o detalle a unos 50 cm. Las tomas realizadas en el BC de medio alcance conectan el BC más lejano. Por ello, es necesaria una correcta planificación del proceso de tomas fotográficas, resultando de vital importancia garantizar un solapamiento de imágenes entre el 60 y el 80% para obtener unos resultados óptimos.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

6. El siguiente paso, en la aplicación de restitución fotogramétrica, consiste en alinear y ajustar las fotografías, en otras palabras, Reality Capture (RC) busca los pares fotográficos cuyas imágenes tienen puntos homólogos de la pieza objeto para ser integrados en un único punto de la malla que se crea para conformar el objeto 3D.

En el proceso de alineación fotográfica de RC, se comprueba que todas las imágenes están cargadas en el sistema y que no forman parte de diferentes grupos. Este proceso durará más o menos tiempo dependiendo del número de imágenes y de su tamaño. No obstante, se debe verificar el número de puntos por imagen que se han alineado para detectar posibles pérdidas de información. El programa de reconstrucción analiza las formas de las fotografías para generar una nube de puntos en alta resolución.

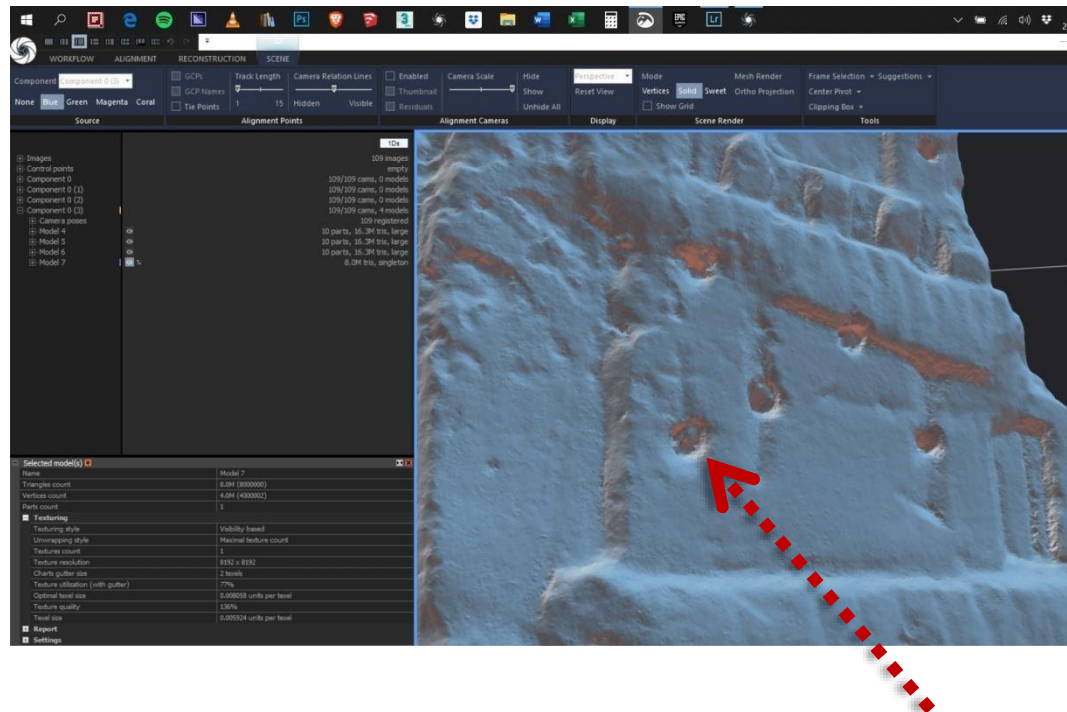
7. Durante el proceso de alineación el programa de reconstrucción analiza las formas de las fotografías para generar una nube de puntos en alta resolución. El color que posee la fotografía se transfiere a cada uno de los vértices para generar la textura de la malla poligonal de manera que los distintos colores que poseen las fotografías se calcan a cada uno de los vértices para generar la textura.
8. Posteriormente mediante el proceso de rectificación virtual se genera una malla de muy alta resolución como se puede observar en la Figura 58. Se ajusta la malla poligonal, ya que este proceso de virtualización tiene precisión milimétrica. Se ajusta la región de reconstrucción a la pieza para, a continuación, ejecutar la orden de mallado en su opción normal o alta. Una práctica habitual en este proceso es bajar el muestreo (4x) para el modo de detalles normal. De esta forma, se obtiene un modelo de la malla final en un corto periodo de cálculo.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 58

Detalle de una zona de malla poligonal con alta resolución. Nótese la aparición de la simbología de la tronera (Fuente: elaboración propia).



9. Se ejecuta el comando de mallado de alta resolución. Es importante considerar que, en esta fase del proceso, se requiere la totalidad de los recursos de CPU, GPU y SSD/HDD del equipo, por lo que se recomienda programar este proceso en un horario de reposo y con el equipo refrigerado. Lo habitual con este ejemplo es obtener una malla de alta resolución de 100 a 200 millones de polígonos mediante la aplicación RC o Agisoft Photoscan. No obstante, para poder mostrar un objeto en visores web como Skechfab es necesario reducir la resolución de la malla a uno o un millón y medio de polígonos, operación que se puede realizar con programas como MeshLab o Zbrush.
10. Adaptar la malla anterior a los medios de visualización más adecuados al entorno WebXR o metaversos. Mediante el procedimiento de re-topología, se trasladan todos los detalles de la malla poligonal de alta resolución a la malla con una resolución menor. Por lo tanto, en el siguiente paso, se deben extraer la textura de alta resolución que se aplicará al objeto, estableciendo una resolución de 16k (16.000 pixel) que luego se reducirá para exportar a 4k u 8k (4.000 y 8.000 pixel), y así conseguir reducir el peso del archivo y sus texturas.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

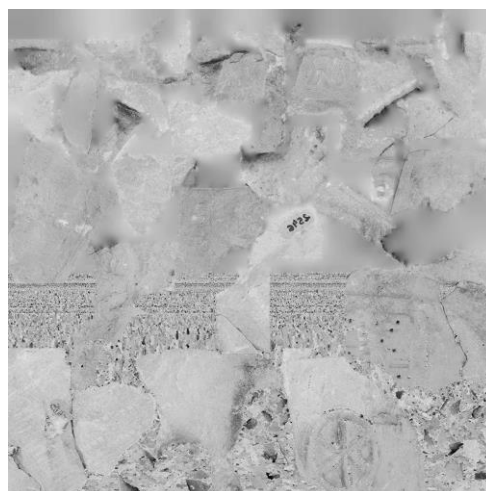
11. A continuación, texturizar, proceso que consiste en crear los distintos mapas de texturas de las superficies fotografiadas. Como se muestra en la Figura 59, en cierto modo, se ubica o se cosen las distintas partes de las texturas sobre el modelo. De esta forma, se adaptan las texturas que inicialmente disponía la geometría en alta resolución mediante un cocinado o “bakeo” de dichas texturas primitivas en el modelo de baja resolución con la finalidad de aplicar el material final con las diferentes capas en la geometría 3D virtualizada.

Figura 59

Detalle de los diferentes mapas de textura. Vista 2D de las texturas procesadas: albedo (a) y de relieve (b) (Fuente: elaboración propia).



(a)



(b)

12. Se retoca la información básica del objeto como el eje de coordenadas y la escala adecuada para enviar al formato necesario en cada caso, que, en realidad, se puede exportar el archivo con el mismo formato, .OBJ, comentado con anterioridad.
13. Esta reedición se realizaría en 3DS Max, que básicamente consiste en un mapeado UVW, es decir, se trasladan las coordenadas cartesianas XYZ a un sistema de texturas 2D que posteriormente se utilizarán en el modelo virtualizado; este procedimiento se denomina mapeado de texturas.
14. Finalmente, se retoca de nuevo añadiendo la información básica del objeto y escala adecuada para exportarla al formato necesario en cada caso.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

15. Por último, cargar el archivo con formato .OBJ o .FBX en Sketchfab. Por tanto, en este punto previo al metaverso, se extraen de la pieza renderizada la textura base, la textura normal, la reflexión, los altos brillos, el desplazamiento, las normales, la oclusión ambiental y todos los mapas que interese configurar (Figura 60).

Figura 60

Detalle de los diferentes mapas de textura (Fuente: elaboración propia).



16. Llegado a este momento ya se obtiene la pieza virtualizada y lista para trasladarla a nuestro metaverso mediante los dispositivos tipo gafas RV o incluir en cualquier documento de información patrimonial como el que se muestra en la Figura 61.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 61

Una de las ortofotos rectificadas generadas por el programa junto con escala gráfica (Fuente: elaboración propia).



2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

2.5.2. Virtualización del Recinto del Castillo de Montilla

En segundo lugar, se expone la metodología seguida para llevar a cabo la reconstrucción virtual del entorno del castillo de Montilla. Este castillo construido en el siglo XIII y hogar de los antiguos señores de Aguilar, fue mandado derribar en el año 1508 por Fernando el Católico, como castigo a la rebelde conducta de don Pedro Fernández de Córdoba, séptimo señor de Aguilar de la Frontera y primer marqués de Priego. Del castillo sólo quedó el arranque de sus muros y de sus cuatro torres y restos de dependencias anejas, además de su recinto amurallado. Sobre estas ruinas, se construye en 1722 el edificio del Alhorí para granero del Duque de Medinaceli.

En 2011 finalizan las obras de restauración y acondicionamiento del edificio del Alhorí para Museo, iniciadas en una fase anterior. Se ordena el recinto amurallado del antiguo castillo y se realiza un conjunto edificado que sirve de centro de recepción de visitantes que integra el edificio histórico de la Tahona además de una construcción adyacente de nueva planta que contiene el vestíbulo de entrada, la cafetería y los servicios públicos (Ordenación del recinto del castillo de Montilla y restauración del alhorí, fase ii, s. f.).

Tabla 2.

Tiempos dedicados a las diferentes tareas para la producción del recinto.

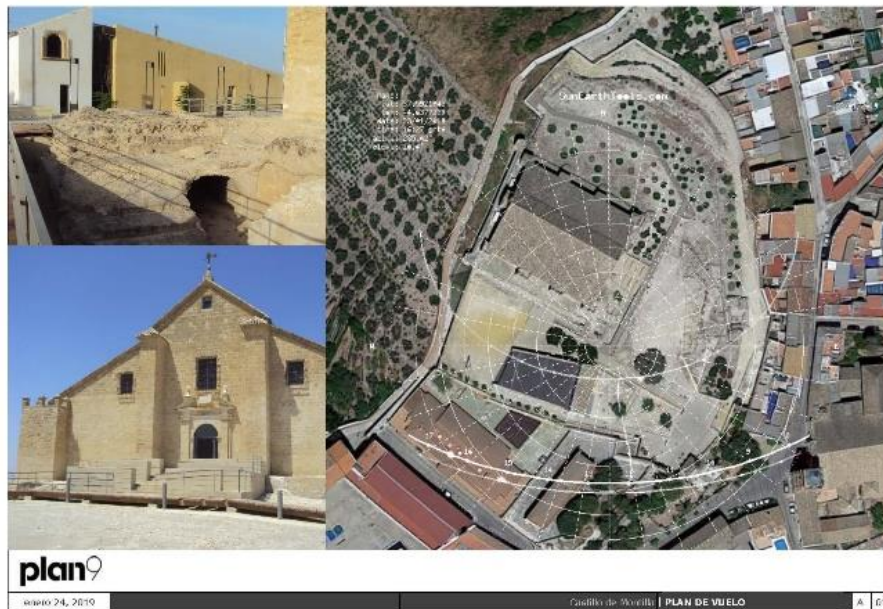
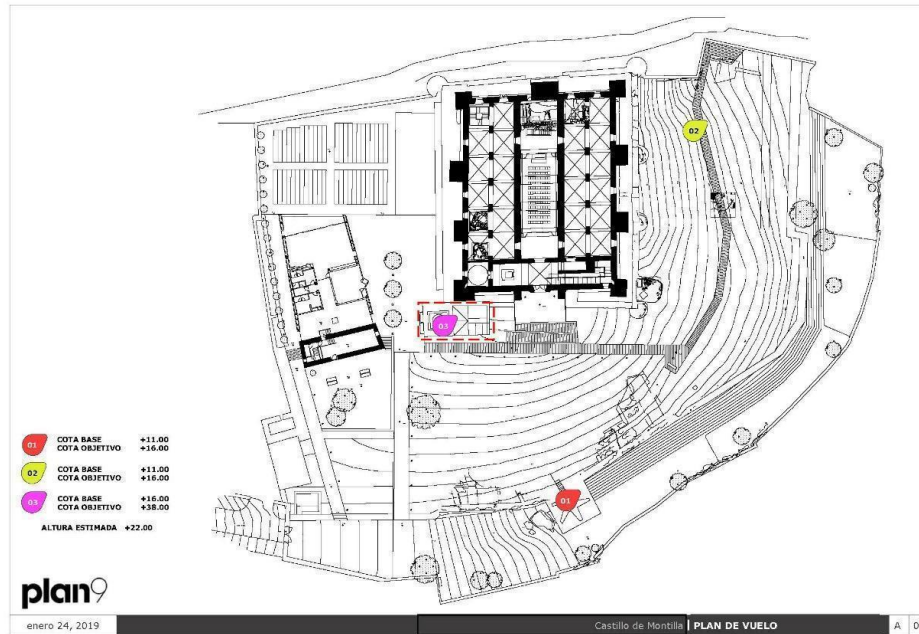
Cantidad	Días de trabajo	Descripción de la tarea
1	7	Estudio y la documentación del escenario, así como para la elaboración del plan de vuelo, ver Figura 62.
1	7	Organización del material de trabajo, preparación de equipos, y la obtención de los permisos necesarios.
1	1	Vuelo y las tomas cercanas (trabajo de campo).
1	1	Equilibrado/compensado de las tomas fotográficas y su alineación. (trabajo de gabinete)
1	2	Trabajo sobre la malla para su re-topología. (Trabajo de gabinete)
1	2	Configurar los diferentes mapas de textura. (Trabajo de gabinete)
1	5	Exportar el modelo a web, papel, metaverso, etc... (Trabajo de gabinete)

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Figura 62

Elaboración del plan de vuelo realizada junto con especialista. Se muestran los puntos de estacionamiento de vuelo y estudio de soleamiento (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

En este caso la dificultad del trabajo se sitúa en obtener los permisos necesarios para poder sobrevolar la zona objeto de estudio de manera segura.

1. Durante las primeras semanas del 2019 se mantienen diversos contactos con personal responsable de la conservación del castillo, junto con estas gestiones se realizan las primeras entrevistas y tomas de contacto con el arquitecto especializado y piloto de dron¹⁴ José Luque Bellido.
2. Recopilada la documentación previa, licencia y comunicaciones a la policía local, se comprueba la previsión del tiempo y disposición del equipo. En este punto es muy importante considerar las tomas fotográficas en días nublados ya que el tipo de iluminación difusa característica de estos días facilita la restitución fotogramétrica del modelo, al no presentar las sombras con alto contraste que provocan los días soleados.
3. El 29 de enero de 2019 a las 16:00 se descarga el equipo en el castillo de Montilla para estacionar el dron (Figura 63) y realizar las tareas de campo. Una vez ajustado todo el equipo y comprobada la iluminación y la fuerza del viento procede a despegar el aparato según el plan establecido.

Figura 63

Estacionamiento del equipo especializado para realizar la toma y vuelo (Fuente: elaboración propia).



¹⁴ Drone. (2021). En Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/> un vehículo aéreo no tripulado.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

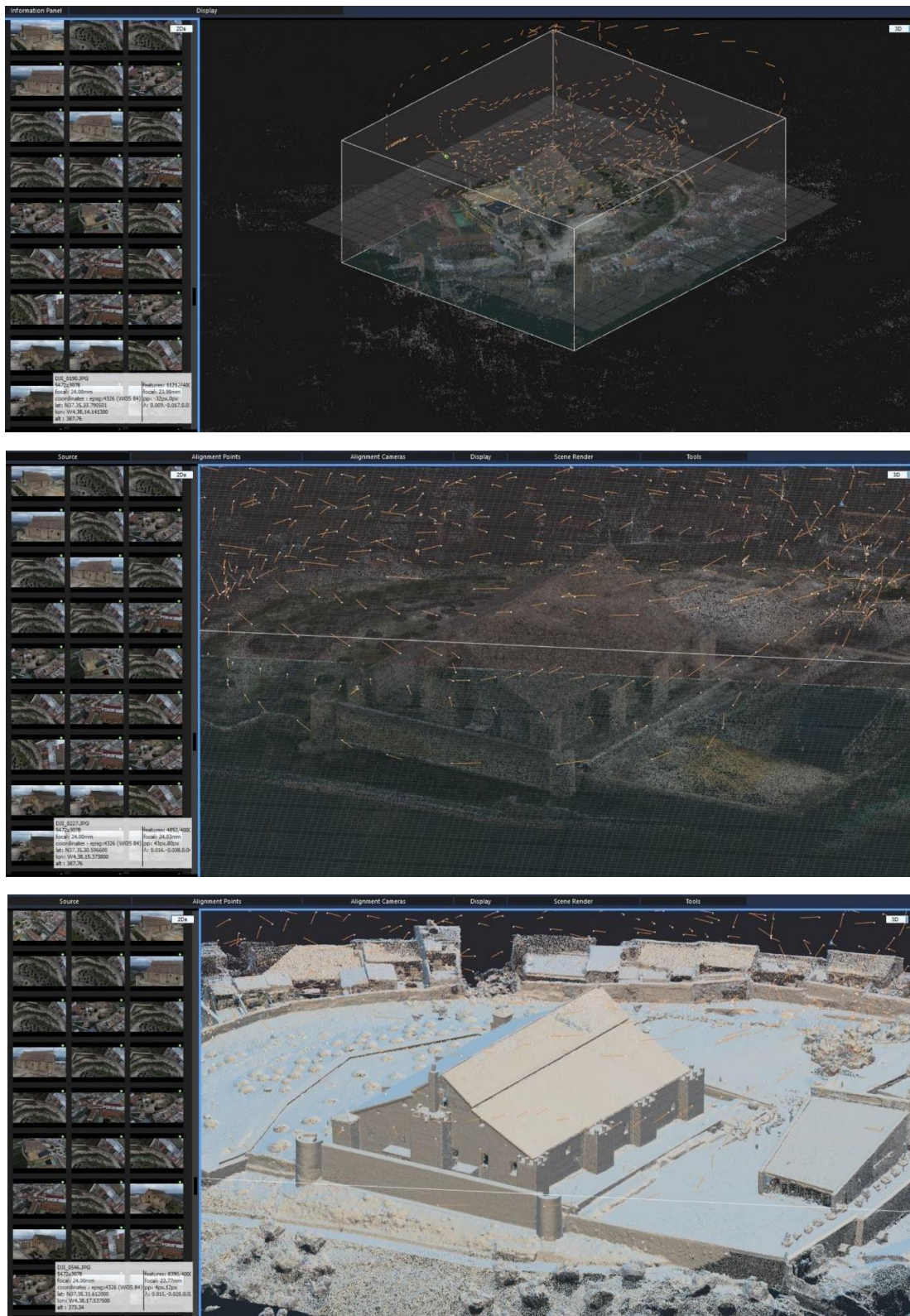
4. En la captura, se toman un total de 950 imágenes, durante tres vuelos consecutivos que consumen las dos baterías de 35 minutos de vuelo. De forma complementaria se toman unas 60 imágenes con una cámara réflex desde la vista de peatón como tomas de apoyo. Como ya existe un levantamiento topográfico de la parcela no se toman medidas de referencia.

El trabajo de gabinete es muy parecido al caso anterior, con algunas particularidades de configuración del software específico para fotogrametría. No se reproduce la totalidad del procedimiento por ser similar a lo descrito en el capítulo anterior. La principal complicación en trabajos a gran escala, como este, se centra en la fase de trabajo de campo. A continuación, se muestra en la Figura 64 el proceso evolutivo en gabinete desde que se descargan las imágenes hasta su exportación en formato compatible con el metaverso.

Figura 64

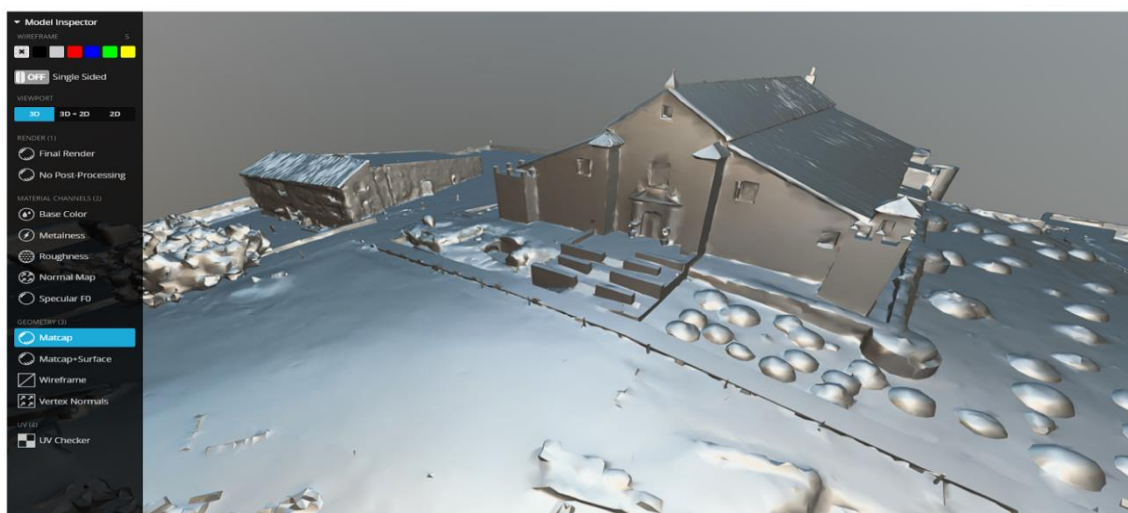
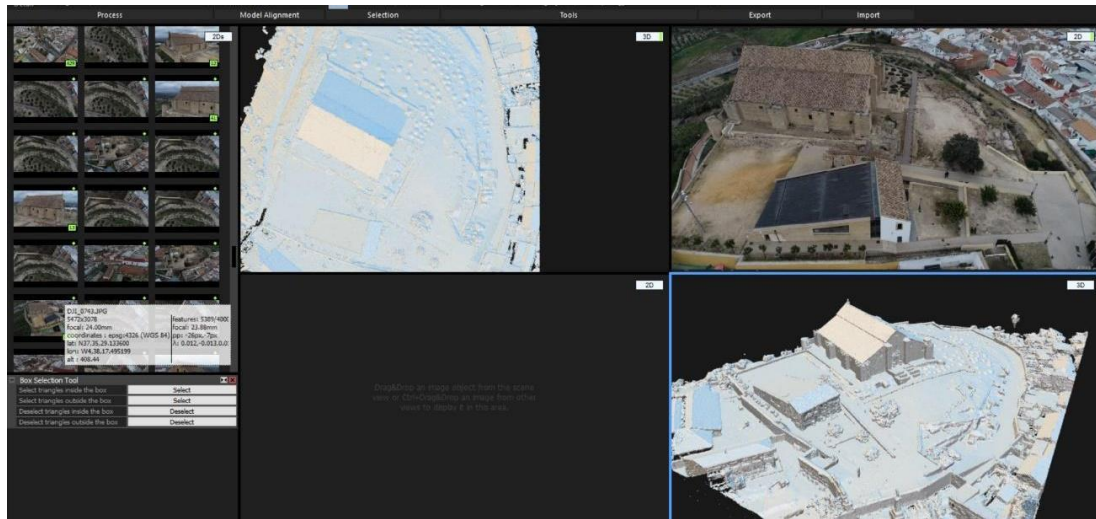
*Evolución del proceso llevado a cabo en gabinete para la producción del conjunto
(Fuente: elaboración propia).*

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA



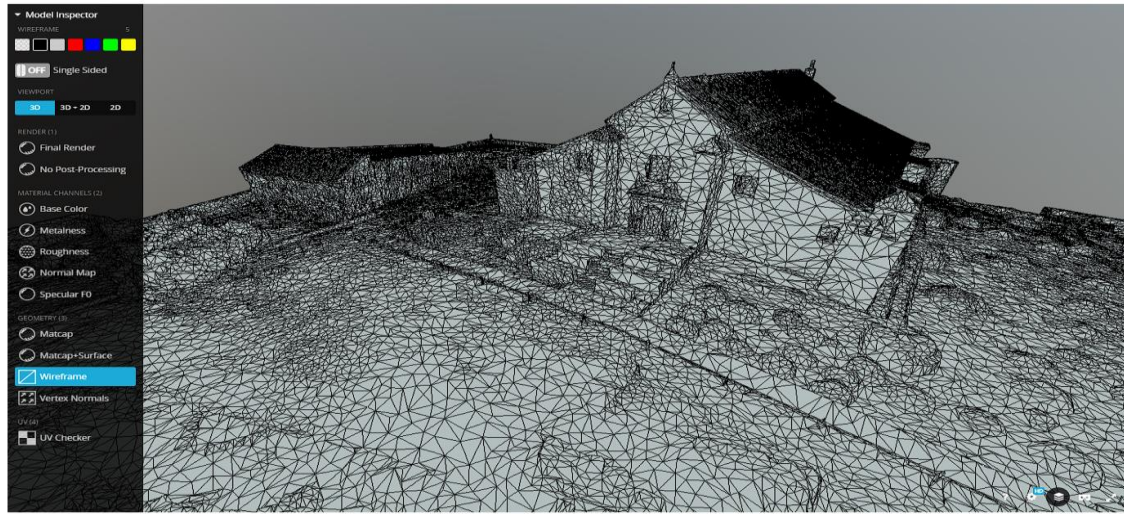
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA



2.6. Metodología del procedimiento de investigación (instrumento IMMS)

Se incluye el presente apartado como referencia metodológica para mantener una clara línea expositiva. Pero su desarrollo se encuentra en el capítulo 3 que contiene la publicación íntegra del artículo científico que confiere a esta tesis los indicios de calidad. Consiste en el desarrollo de un instrumento adaptado de medición denominado “*Instructional Materials Motivation Survey*” (IMMS). El instrumento adaptado contiene 24 preguntas con elementos graduados en base a la escala Likert de 5 puntos estos miden las reacciones y valoraciones de los estudiantes a los nuevos recursos tecnológicos que se les facilita. Este modelo instruccional evalúa los cuatro factores que deben analizarse para evaluar la motivación de los alumnos en base con el modelo ARCS: atención, motivación, confianza y satisfacción. Las respuestas van desde (0 – muy en desacuerdo) a (5 – muy de acuerdo). Cada consulta del cuestionario corresponde a una de las cuatro categorías o factores definidos.

Entre los estadísticos utilizados, están la media, el test t-Student y el coeficiente alfa de Cronbach (α) como la estadística apropiada para el análisis de los datos.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

2.7. Los dispositivos de Realidad Virtual

El Departamento Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba se dispone de dos dispositivos de visualización para realizar la experimentación de los objetos y escenarios tridimensionales de las actividades: las gafas Oculus Quest y Oculus Rift S.

El primero de ellos, pertenece a una familia de RV “todo en uno”, es decir, son un tipo de gafas RV que se utilizan sin ordenador ni cables, todo incluido, pero con gráficos limitados. En la actualidad, con Oculus Quest se presentan los ejercicios de geometría descriptiva en el aula. El entorno web para este modelo de gafas es el servicio en línea que ofrece Skechfab, de manera que en ese metaverso el usuario podrá interactuar con geometrías 3D a escala real desde cualquier punto (el único requerimiento es tener conexión a internet).

Figura 65

Requisitos mínimos y recomendados para PC ligado a Oculus Rift S (Fuente: Oculus 2019).

Requisitos recomendados	Requisitos mínimos
Tarjeta gráfica NVIDIA GTX 1060/AMD Radeon RX 480 o superior	Tarjeta gráfica NVIDIA GTX 1050 Ti/AMD Radeon RX 470 o superior
Tarjeta gráfica alternativa NVIDIA GTX 970/AMD Radeon R9 290 o superior	Tarjeta gráfica alternativa NVIDIA GTX 960/AMD Radeon R9 290 o superior
CPU Intel i5-4590/AMD Ryzen 5 1500X o superior	CPU Intel i3-6100/AMD Ryzen 3 1200, FX4350 o superior
Memoria 8 GB de RAM o más	Memoria 8 GB de RAM o más
Salida de vídeo DisplayPort™ 1.2 / Mini DisplayPort (con adaptador incluido en la caja)	Salida de vídeo DisplayPort™ 1.2 / Mini DisplayPort (con adaptador incluido en la caja)
Puertos USB 1 puerto USB 3.0	Puertos USB 1 puerto USB 3.0
SO Windows 10	SO Windows 10

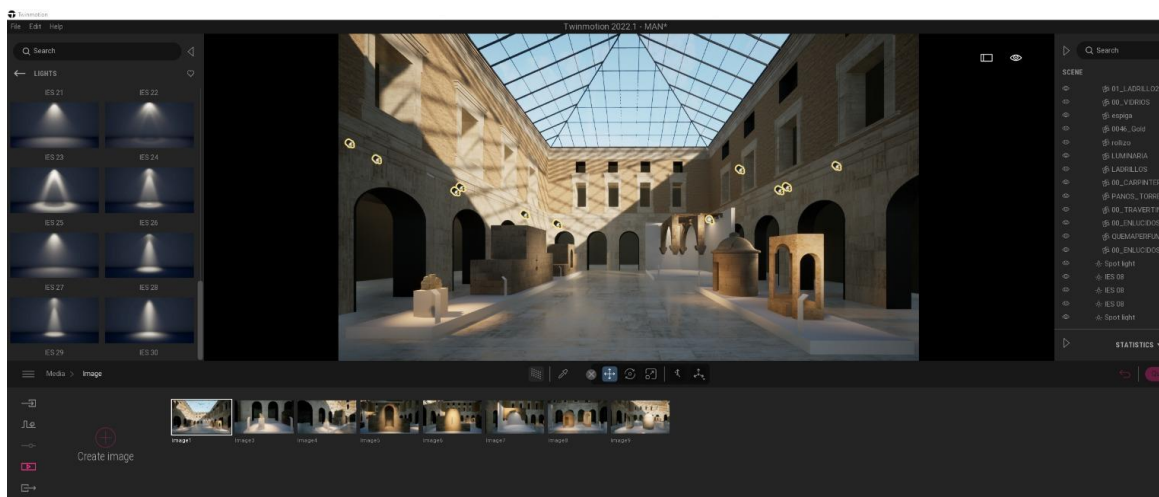
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

2. EL METAVERSO COMO HERRAMIENTA EN EL AULA

Por el contrario, el segundo modelo incluye aplicaciones de RV para PC, por tanto, necesita ordenador de última generación (Figura 65), que permita el máximo rendimiento posible (como se muestra en imagen más abajo); no obstante, como contrapartida, no tiene límites en cuanto a calidad gráfica. En la Figura 66 se muestra el entorno de trabajo utilizado para las gafas Oculus Rift S. La aplicación utilizada en este caso es Twinmotion. Combina una intuitiva interfaz conducida por iconos con la potencia de Unreal Engine, de manera que el alumnado puede adentrarse en un metaverso con visualización en tiempo real. Así, gracias a esta aplicación se puede cargar cualquier modelo, paisaje o escenario, de manera que la sensación es similar a un videojuego, con las particularidades de que el usuario parece encontrarse completamente dentro del mismo.

Figura 66

Entorno de trabajo de Twinmotion para visores RV (Fuente: elaboración propia).



Otros ejemplos de entornos web que podrían soportar el metaverso realizado para Oculus Rift que se permita su uso en aulas podrían ser Google Earth VR, también con visualización inmersiva, Microsoft Maquette, de creación de prototipos, o Google Blocks, que crea los prototipos a partir de geometrías muy sencillas.

CAPITULO 3. Resultados preliminares del impacto de los recursos de visualización 3D en el área de expresión gráfica sobre la motivación de los estudiantes de grado y posgrado

3.1. Estado del arte de la aplicación de la tecnología 3D en el aula

Se presenta en síntesis, el estado del arte de las nuevas tecnologías tridimensionales aplicadas en la actividad docente. Ya existen experiencias de este tipo como se observan en *Improving graphic expression training with 3D models. Journal of Visualization* (Alvarez et al., 2017); y en *Virtual Learning Environments to Enhance Spatial Orientation* (Carbonell-Carrera & Saorin, 2017) que podrían valer como ejemplo. Por otro lado, en *Entornos Virtuales, Realidad Aumentada y DBR en el Contexto de Aprendizaje Situado: Intervenciones con Scratch* aparece: “se plantea el poder expresivo de los medios computacionales y electrónicos digitales para la construcción de un imaginario o contexto sociocultural ligado a estos medios. De este modo, los medios digitales presentan una oportunidad sin precedentes a la hora de proponer un modelo constructivista basado en la implantación de tecnologías interactivas que tienen relación con el Continuo de la Virtualidad y su aplicación a nivel narrativo en entornos de aprendizaje” (Rubio-Tamayo et al., 2014). En algunos casos, se aplican recursos en el ámbito de los videojuegos (Feng et al., 2007), las tecnologías multimedia (Gerson et al., 2001), las aplicaciones CAD (Chester, 2007) o la Realidad Virtual y Aumentada (Chen et al., 2011) entre otros.

Diversos autores han estudiado el nivel de percepción de los estudiantes, debido a la implementación de las diferentes tecnologías en la enseñanza (Tang & Austin, 2009). Las nuevas tecnologías aplicadas al mundo de la educación están cada vez más extendidas en las carreras técnicas y de ingeniería (Viegas et al., 2018), y están siendo promovidas por un mundo cada vez más tecnológico (Bennett et al., 2008). Estudios previos en el campo de la educación concluyen que el uso de la tecnología apoya, incluso aumenta, la motivación del estudiante (Taran, 2005). Otros, como Prince & Felder (2006), afirman que la única motivación que obtienen los estudiantes, si la hay, es que el contenido será importante en sus futuras carreras.

Millar (2004) y Sorby (2009) coinciden que, en la educación de ingeniería, las clases prácticas juegan un papel crucial, ya que es donde los estudiantes pueden sentir su interacción con los fenómenos reales; de manera que tener éxito en tales disciplinas tan abstractas necesita que los estudiantes estén motivados y capacitados, y tengan una buena visión espacial. Por otro lado, el empleo, la inmersión, la interacción de los estilos de aprendizaje, las tecnologías emergentes, el disfrute y la facilidad de uso, son variables que podrían impactar en la motivación de los alumnos (Bacca et al., 2018).

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Para autores como Olmedo-Torre, Farrerons-Vidal, Lapaz-Castillo & Bermúdez-Rodríguez, (2017), las clases prácticas basadas en la utilización de las TIC han favorecido la enseñanza de la geometría espacial. De todas las TIC posibles, la RV y la RA son las tecnologías que se han introducido más rápidamente en diferentes campos, tales como el patrimonio cultural, arquitectónico (Koeva et al., 2017) y la medicina (Balsam et al., 2019) entre otros. Asimismo, estas tecnologías han proporcionado resultados prometedores en el campo educativo (Kesim & Ozarslan, 2012; Cabero-Almenara et al., 2019), ganando influencia en la enseñanza (Pan et al., 2006); (Dunleavy, 2014); (Serin, 2020), y siendo la mayoría de sus aplicaciones en actividades de simulación para el aprendizaje de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas STEM (Di Serio et al., 2013).

La RV aparece como un entorno 3D inmersivo a través de los metaversos configurados gracias a un software y un hardware en el que los usuarios pueden explorar a través del propio movimiento de sus cuerpos (Pan et al., 2006). La RV refleja la interfaz entre el 3D gráfico y las aplicaciones de software en tiempo real (Stone, 1995), dando la sensación de que es real gracias al entorno dinámico desarrollado por las computadoras (Serin, 2020). La RA es la visualización del entorno físico real a través de un dispositivo tecnológico, normalmente una tabletas o un móvil (Bazarov et al., 2017; Feng Zhou et al., 2008), que le añade en tiempo real, elementos virtuales para complementar la realidad física (Azuma, 1997). Por lo tanto, mientras que en RV la experiencia se basa en un entorno virtual generado por computadora, en RA el entorno es una visión real (Lee, 2012).

En este contexto, algunos autores afirmaron que el uso de la RV (Mayrose, 2012; Prasolova-Forland et al., 2017) y RA (Ke & Hsu, 2015; Kugelman et al., 2018) mediante las aplicaciones que dispone el sector educativo impulsan a los estudiantes a un aprendizaje activo, mejorando su motivación hacia los contenidos académicos, especialmente en materias de ciencias.

Prince (2004) animó a los profesores de ingeniería a implementar el aprendizaje activo en sus conferencias. En el área de conocimiento en ingeniería gráfica, tanto RV como RA, pueden ayudar al permitir a los estudiantes mejorar su aprendizaje, haciéndolo todavía más interactivo llevándolo al metaverso. Visualizar los ejercicios en RV y RA mejora la capacidad de visión espacial de los alumnos, ya que se posee la práctica totalidad de movimientos, girando los objetos 360° a lo largo del propio desplazamiento libre de los alumnos.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

El empleo dentro del aula de estas tecnologías permite a los alumnos percibir individualmente elementos geométricos de manera interactiva (Tumkor, 2018), contribuyendo a obtener una mejor comprensión de las asignaturas con contenidos relacionados con la expresión gráfica (Viegas et al., 2018), y aumentando su interés (Cardoso et al., 2019).

La efectividad de estas metodologías y tecnologías aplicadas en el proceso de aprendizaje se basa en la motivación de los alumnos (Tallent-Runnels et al., 2006), siendo la participación en el aprendizaje un factor clave (Zimmerman, 1989). Se han realizado varios intentos de evaluar el nivel de motivación de los estudiantes, a la hora de implementar estas TIC, ya que la motivación es uno de los principales factores relacionados con el éxito de desempeño en la asignatura en la que las utilizan (Álvarez et al., 2017; Cabero-Almenara & Roig-Vila, 2019).

Autores como Ayala-Alvarez et al., (2017) o Melian-Melian & Martin-Gutierrez (2018) han estudiado analíticamente el uso de ejemplos 3D aplicados en el campo de la expresión gráfica. En este sentido, Keller (1987) desarrolló un modelo, titulado el modelo ARCS de diseño motivacional, basado en el examen de 4 factores: atención, relevancia, confianza y satisfacción desde el punto de vista de los alumnos. Muchos autores han implementado este modelo para conocer la motivación de los estudiantes debido a la utilización de diferentes elementos como podcasting o cursos basados en la web (Bolliger et al., 2010; Cook et al., 2009; Kew et al., 2018).

Sin embargo, el modelo de Keller desarrolló su propio instrumento llamado *Instructional Materials Motivation Survey* (IMMS) en 2010. El IMMS se ha implementado en diferentes estudios y ha sido validado en diferentes documentos como un instrumento razonable y efectivo en la evaluación de cómo este material educativo puede afectar la motivación de los estudiantes (Rodgers & Withrow-Thorton, 2005; Johnson, 2012; Huang & Hew, 2016), adaptado mediante cuestionarios personalizados para adaptar sus características motivacionales a estudios específicos (Bolliger et al., 2010; Kew et al., 2018).

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Para finalizar, resulta imprescindible citar el proyecto de innovación que se lleva a cabo desde el curso académico 19/20 hasta la fecha de esta publicación, en esta Universidad de Córdoba: ***Mejoras en el proceso enseñanza-aprendizaje de los Sistemas de Representación Gráfica a través de herramientas de realidad virtual y aumentada***. En él se reconoce como mejora docente el uso de las nuevas tecnologías de RV y RA, ya que “*con ello, se logra mostrar el objeto 3D y sus proyecciones en diferentes sistemas de representación; permitiéndose realizar giros del objeto hasta 360° a través del propio movimiento rotacional del alumno*”.

A continuación, se incorpora traducido al castellano, el artículo ***Preliminary results of the impact of 3D-visualization resources in the area of graphic expression on the motivation of university students*** publicado en la revista Virtual Reality (2021), <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00606-2> (Q1-JCR).

La revista con un índice de impacto de 5.095 (2020) se encuentra en el Q1 según Journal Citation Reports.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales

3.2.1.1. La muestra de estudio

Este estudio se ha realizado durante el curso 2019-2020 con una muestra de alumnos de dos perfiles diferentes, ingeniería y no pertenecientes a la rama de la ingeniería, de la Universidad de Córdoba. La muestra de ingeniería pertenecía al curso de primer año e incluía 39 estudiantes de grado en Ingeniería Electrónica Industrial, 32 de grado en Ingeniería Agrícola y 22 de grado en Ingeniería Forestal. Sin embargo, la muestra de estudiantes no ingenieros incluyó a 21 estudiantes de Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria, Formación Profesional y Educación Lingüística en la especialidad “Dibujo, Imagen y Artes Gráficas”. Además, del grupo de ingeniería, esta investigación incluyó datos de los 20 estudiantes de grado que asistieron a tutorías.

Teniendo en cuenta la experiencia de los profesores en los últimos años, existe una gran variabilidad en el nivel de habilidades de dibujo presentado por los estudiantes de primer año en las especialidades de ingeniería. Algunos de ellos no habían escogido la asignatura denominada “Dibujo Técnico” en el curso previo antes de ingresar en la Universidad. Otros estudiantes carecían de la visión espacial necesaria para tomar estas disciplinas. Según los datos administrativos de la Universidad de Córdoba, las asignaturas relacionadas con el Dibujo Técnico tienen una tasa de aprobados de 41 frente a 100 de la totalidad de alumnos matriculados en los últimos 4 años.

3.2.1.2. Recursos didácticos - Ejercicios 3D

Esta investigación se centró en el desarrollo de aspectos 3D para la mejora de la visualización de ejercicios. Junto con los esquemas en perspectiva realizados en la pizarra y utilizados en las clases convencionales, se han desarrollado once ejercicios de dibujo técnico en un sistema de coordenadas tridimensionales (3D). Estas versiones digitalizadas 3D/CAD de los ejercicios se han logrado mediante el uso de un software CAD y posteriormente han sido procesadas dentro del software Sketchfab, para permitir su visualización a través de la tecnología WebXR Device API, comúnmente utilizada con dispositivos RV y RA. El contenido construido con las tecnologías estándar WebXR ofrece una experiencia inmersiva en RV y compatible con los navegadores web más modernos para PC y móviles. Esta nueva forma de visualización de los ejercicios permite a los estudiantes observar los objetos geométricos desde diferentes ángulos y puntos de vista, facilitando su comprensión y transmitiendo un sentido preciso de la escala en RV y RA (Jiménez-Hornero et al., 2016). El ejercicio de modelado 3D es el vínculo entre el volumen tridimensional, que se muestra, y la representación gráfica bidimensional (Ayala-Alvarez et al., 2017). Con esta medida, la representación del sistema de proyecciones diédricas (doble proyección cilíndrica ortogonal

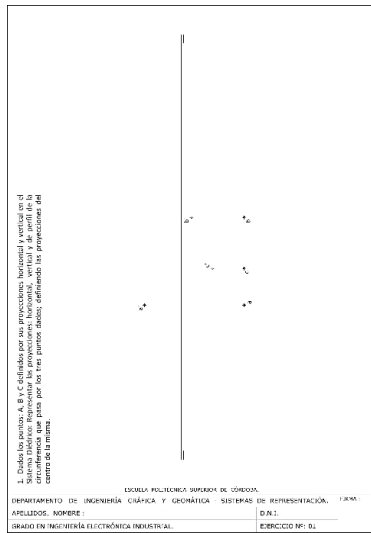
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

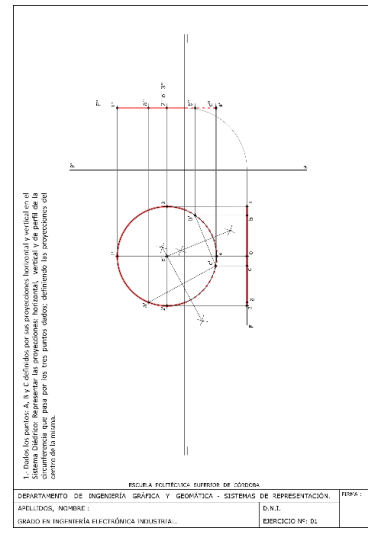
en los planos de proyección horizontal y vertical) y los ejercicios de representación del sistema axonométrico pretendían ser más comprensibles (Figura 67). Estos ejercicios 3D, explicados por el profesorado, se ponen a disposición de los alumnos a través de la plataforma universitaria educativa Moodle 2019/2020. Los ejercicios se visualizan con cualquier tipo de dispositivos, móviles, tabletas, ordenadores, e incluso con las gafas RV (Figura 69). Las gafas utilizadas en esta investigación fueron el modelo de gafas virtuales Oculus Quest.

Figura 67

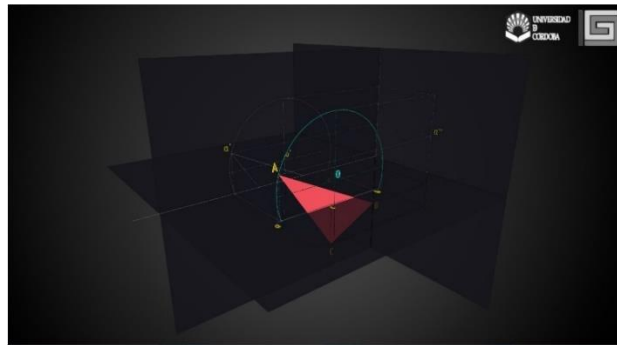
Ejemplo de un ejercicio resuelto sobre el sistema de proyecciones diédricas. (a) Enunciado gráfico del ejercicio, (b) Solución del ejercicio 2D en papel, y (c) captura de pantalla de la visualización 3D obtenida con la computadora (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).



(a)



(b)



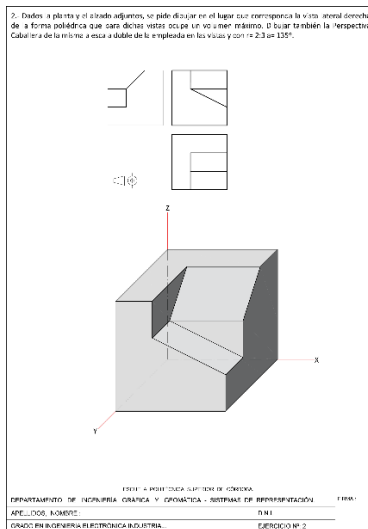
(c)

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Figura 68

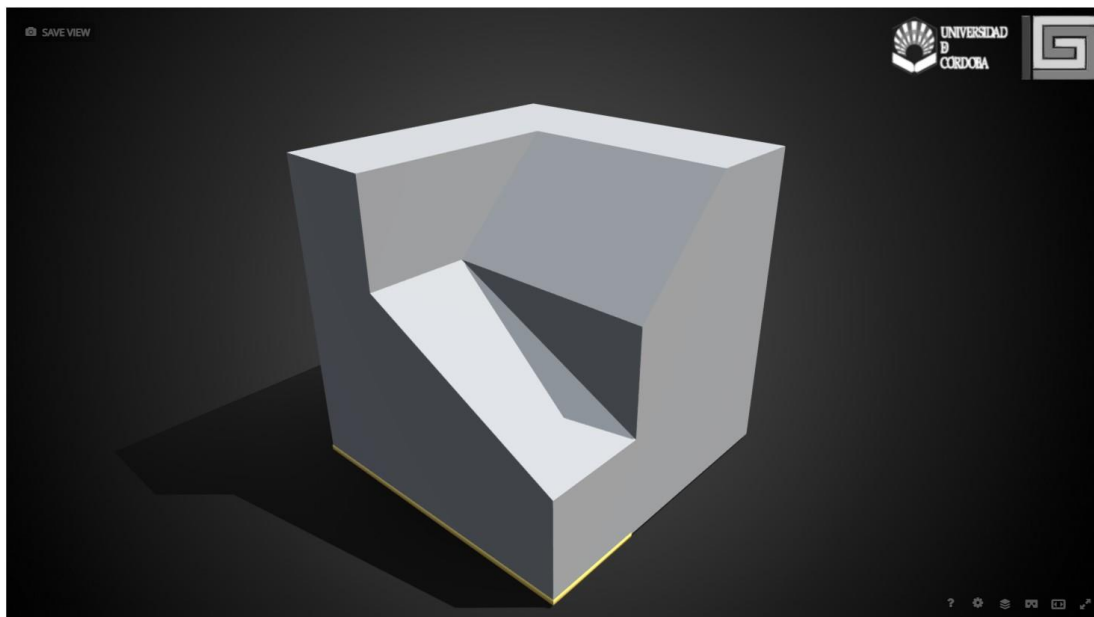
Ejemplo de un ejercicio de proyección axonométrica. (a) Solución gráfica de ejercicios en papel 2D, (b) visualización del ejercicio con Realidad Aumentada, y (c) captura de pantalla de la visualización 3D con Realidad Virtual obtenida con el ordenador (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).



(a)



(b)



(c)

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL
ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Diseño del procedimiento de investigación (instrumento- IMMS)

Las clases se imparten por profesores del departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba, que incluyen un equipo especializado de RV y algunos materiales de enseñanza más tradicional que se utilizan comúnmente en sus clases.

Imparten los contenidos de la asignatura explicando los ejercicios en la pizarra, complementado con diferentes recursos, como presentaciones en PowerPoint y diapositivas. Después de haber realizado el procedimiento normal, proporcionan a los estudiantes este innovador material didáctico en 3D, que está disponible para ser visto con sus móviles, tabletas, ordenadores, etc. Los estudiantes son libres de observar los diferentes modelos 3D con la frecuencia que lo deseen, ya que tienen los enlaces web o directos de los diferentes ejercicios subidos a la plataforma Moodle de la Universidad. El alumnado puede acceder a los enlaces en un ordenador o móvil antes de realizarlos individualmente en papel (formato 2D). Además, se brinda la posibilidad de visualizar los ejercicios con las gafas virtuales, para los estudiantes que asisten a una sesión de tutoría con el profesor (Figura 69).

Figura 69

Estudiantes de máster experimentando la realidad virtual visualizando representaciones 3D con las gafas (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Después de utilizar estos recursos didácticos a lo largo del trimestre en varios ejercicios, los profesores realizaron un cuestionario anónimo para recopilar datos de cada estudiante. En la primera página del cuestionario se informaba que la experiencia está integrada en el marco del proyecto de innovación realizado por el Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba.

Un panel de expertos compuesto por investigadores y académicos de la Universidad de Córdoba, del Departamento de Ingeniería Gráfica, creó esta encuesta particularizada para esta investigación. El cuestionario tenía preguntas en dos enfoques diferentes. La primera parte abordó la actitud de los estudiantes con respecto a la visión espacial, las habilidades de uso de las TIC, sus conocimientos previos sobre dibujo técnico, así como el género de los encuestados. Mientras que la segunda parte de la encuesta abordó la utilidad y viabilidad de las herramientas 3D y evaluó cómo estos recursos 3D innovadores afectan a la motivación del alumno. En esta segunda parte, los autores investigaron las relaciones entre atención, relevancia, confianza y satisfacción en el área de expresión gráfica para estudiantes de grado y posgrado, a través del IMMS adaptado. Este cuestionario se facilitó a los estudiantes en clase una vez que habían observado los ejercicios 3D a través de diferentes dispositivos, al final del curso. El método seleccionado para la evaluación de la motivación se basó en el IMMS adaptado. El instrumento adaptado contiene 24 preguntas con ítems de escala Likert de 5 puntos que miden las reacciones motivacionales de los estudiantes al nuevo material de instrucción autodirigido. Este modelo instruccional estudia las cuatro estrategias para medir la motivación en las personas de acuerdo con el modelo ARCS: atención, motivación, confianza y satisfacción. Las respuestas van desde (0 – muy en desacuerdo) a (5 – muy de acuerdo).

3.2.2.2. Análisis estadístico de datos

Los datos se analizaron mediante el software Excel (Microsoft). La estadística seleccionada para el análisis de los datos después de recabar los datos fue el coeficiente alfa de Cronbach (α). Esta estadística ofrece al instrumento fiabilidad interna o consistencia interna de las respuestas a un cuestionario cuantificado (Leontitsis & Page, 2007). El coeficiente alfa de Cronbach o índice de fiabilidad para el IMMS adaptado fue de 0,90, lo que significa una "excelente consistencia interna" ($0,9 \leq \alpha$). Las estimaciones de fiabilidad para cada categoría se clasificaron como "buenas" para el factor de *atención* ($\alpha = 0,86$) ($0,8 \leq \alpha < 0,9$), "cuestionables" para los aspectos de factor de *relevancia* ($\alpha = 0,65$) ($0,6 \leq \alpha < 0,7$), "aceptables" para los aspectos de *confianza* ($\alpha = 0,72$) y *satisfacción* ($\alpha = 0,70$) respectivamente ($0,7 \leq \alpha < 0,8$). Desde el punto de vista de la validación, la fiabilidad muestra su valor más bajo (0,86) para la categoría de *atención*. La Tabla 3 muestra los valores de IMMS, así como las diferentes dimensiones que los componían.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL
ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Tabla 3

Índice de confiabilidad del instrumento de la Encuesta de Motivación de Materiales De Instrucción (IMMS)

	Atención	Relevancia	Confianza	Satisfacción	Total
Alfa de Cronbach (α)	0,86	0,65	0,72	0,70	0,90
Consistencia	Bien	Cuestionable	Aceptable	Aceptable	Excelente

Se realizó una prueba *t* -student independiente para determinar las diferencias en las puntuaciones medias, relacionados con el género de los estudiantes, entre hombres y mujeres, en las cuatro categorías. Se estudió la utilidad de las nuevas tecnologías calculando la puntuación media (μ) y la desviación estándar (σ), de cuatro preguntas a escala Likert (0-5), que se relacionaron con la visión espacial y la habilidad de los alumnos para ejecutar los ejercicios. Con respecto al momento adecuado para utilizarlos se estudió preguntando sobre la elección de la mejor opción entre tres posibilidades dadas: a) «después de leer el enunciado del ejercicio y antes de pensar en el»; b) «después de pensar en el ejercicio y antes de su ejecución»; o c) «después de pensar en el ejercicio y después de su ejecución».

3.3. Resultados

3.3.1. Descripción del ejemplo

Ciento treinta y cuatro alumnos (42,27% de los alumnos matriculados), el 79,28% de los alumnos estaban comprometidos con la asignatura y se presentaron a los exámenes, y cumplimentaron la encuesta. Se eliminaron cinco encuestas del conjunto de datos, ya que presentaban más de un tercio de los datos incompletos. La mayoría de los encuestados eran hombres (66,66%), el 73,45% eran estudiantes de grado y el 61,90% eran estudiantes de máster y posgrado. El desglose de los participantes estuvo relacionado con sus títulos de ingeniería, su género y sus conocimientos previos de dibujo técnico (Tabla 4).

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL
ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Tabla 4

Descripción de la muestra

	Estudiantes tutorizados	Estudiantes de grado	Estudiantes de posgrado
Total	20	93	21
Mujeres	5	25	8
Hombres	15	68	13
Ingeniería Electrónica Industrial	5	39	
Ingeniería Agrícola	10	32	
Ingeniería Forestal	5	22	
Alumnos de nueva matrícula con conocimientos previos de dibujo técnico	5	28 a) + 10 b) + 2 c)	8
Alumnos de nueva matrícula sin conocimientos de dibujo técnico	7	5 a) + 11 b) + 9 c)	5
Alumnos repetidores	8	6 a) + 11 b) + 11 c)	0

(a) Estudiantes del grado de Ingeniería Electrónica Industrial; b) Estudiantes del grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural; c) Estudiantes del grado de Ingeniería Forestal.

Los estudiantes de grado pertenecen al título de Ingeniería Electrónica Industrial se matricularon en la asignatura de “Sistemas de Representación”, mientras que los estudiantes del grado de Ingeniería Agroalimentaria y Forestal se matricularon en la asignatura “Dibujo de Ingeniería”, que se compone principalmente de los mismos contenidos didácticos que la anterior. Los estudiantes de máster se matricularon dentro de la asignatura de innovación docente “Dibujo, Imagen y Artes Gráficas”, en la que se realizó esta investigación.

Se preguntó a los encuestados sobre la información en herramientas TIC. Los resultados de la investigación para este propósito mostraron, para los estudiantes de máster, un conocimiento de nivel medio ($\mu = 2,52$), mientras que los estudiantes de grado mostraron un nivel más alto, ($\mu = 3,67$) para los estudiantes de Ingeniería Electrónica Industrial, ($\mu = 2,84$) para los estudiantes de Ingeniería Agrícola y, ($\mu = 2,82$) para los estudiantes de Ingeniería Forestal. En cuanto a la visión espacial, los estudiantes de máster pensaron que tenían una visión espacial promedio de ($\mu = 3,00$), los estudiantes de Ingeniería Agrícola de ($\mu = 2,91$).

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL
ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Mientras que los estudiantes de grado que estudian Ingeniería Electrónica Industrial e Ingeniería Forestal arrojaron unos mayores resultados ($\mu= 3,36$) y ($\mu= 3,40$) respectivamente.

3.3.2. Preguntas de investigación relacionadas con el modelo ARCS

La escala de respuesta para el modelo ARCS varía de 0 a 5: (0 - muy en desacuerdo); (1 – en desacuerdo); (2 – ligeramente en desacuerdo); (3 – ligeramente de acuerdo); (4 – de acuerdo) y 5 (totalmente de acuerdo). Por lo tanto, la puntuación mínima y máxima en general de IMMS varía de 0 a 120, para cada participante, lo que significa un rango de 0 -670 de la muestra total. Los resultados totales de los estudiantes encuestados variaron de 213 a 343 ($\mu= 313$). Estos resultados reflejan la opinión general de que la mayoría de los estudiantes encuentran motivadores estos recursos de aprendizaje en 3D.

La Tabla 5 muestra las estadísticas descriptivas para los cuatro factores. Las puntuaciones medias mayores y las bajas fueron generadas por preguntas del factor de *relevancia* ($\mu= 4,26$) y el factor de *confianza* ($\mu= 2,85$).

Tabla 5

Estadística descriptiva para los cuatro factores (atención, relevancia, confianza y satisfacción)

ARCS - Factores	Media (μ)	Desviación estándar (σ)
Atención	3,90	1,02
Pertinencia	4,01	0,98
Confianza	3,63	1,10
Satisfacción	3,92	0,94

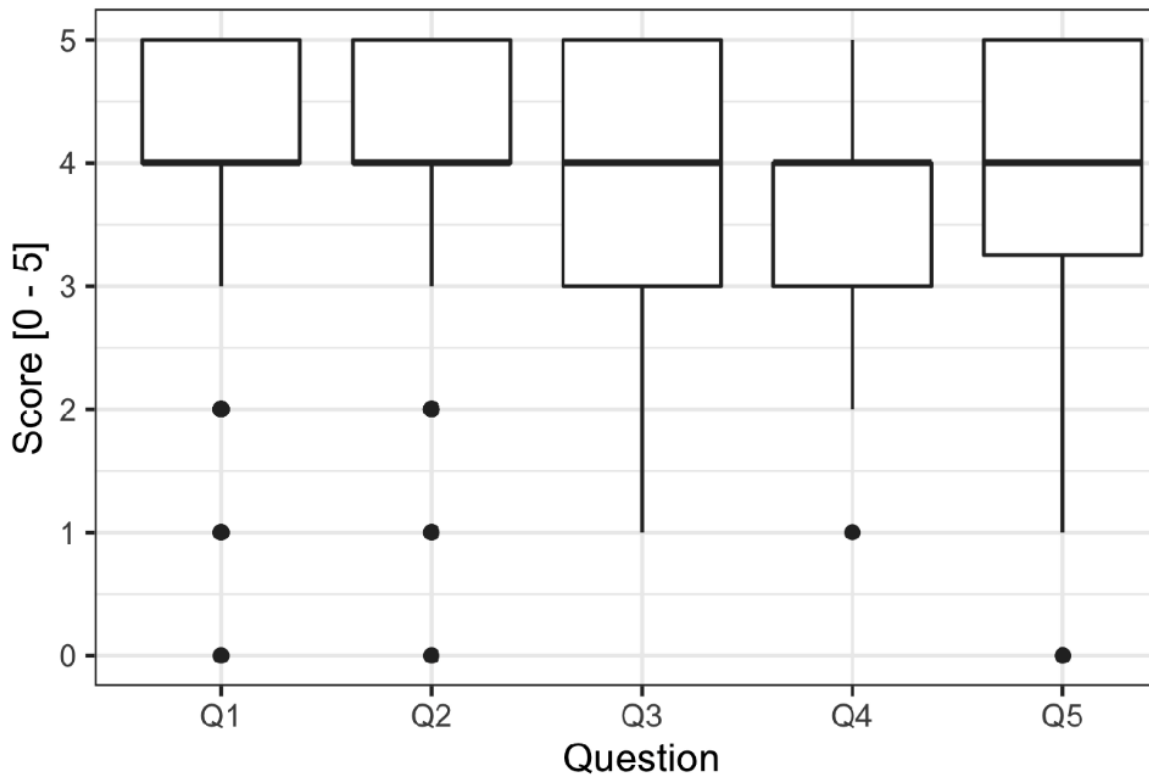
Sólo un ítem del factor de atención tuvo una puntuación media superior a 4,0 (Figura 70). Los análisis estadísticos determinan que el 81,30 % de los participantes estuvo muy de acuerdo, o de acuerdo, con la afirmación de que la calidad de los dibujos en 3D ayuda a mejorar su atención. Alrededor del 76 % de los estudiantes estuvo totalmente de acuerdo, o de acuerdo, en que estos recursos de aprendizaje y enseñanza en 3D les ayudaron a aumentar su motivación (76,1 %), así como su curiosidad (74,60 %). Mientras que el 64,20 % de los estudiantes encuestados estuvo de acuerdo (muy o normalmente), en que la diversidad de contenido al utilizar recursos 3D les ayudó a retener su atención. La Figura 70 muestra los datos estadísticos de los cinco ítems sobre el factor *de atención*.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL
ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Figura 70

Puntuaciones medias y desviaciones estándar del factor de “atención” (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).



Q1: The 3D resource is very motivating

Q2: The quality of the 3D drawing helps improving my attention

Q3: 3D representations stimulate my curiosity on the subject

Q4: The diversity of content when utilizing 3D resources help to keep my attention

Q5: Visualizing the exercises in 3D increases my curiosity for its realization

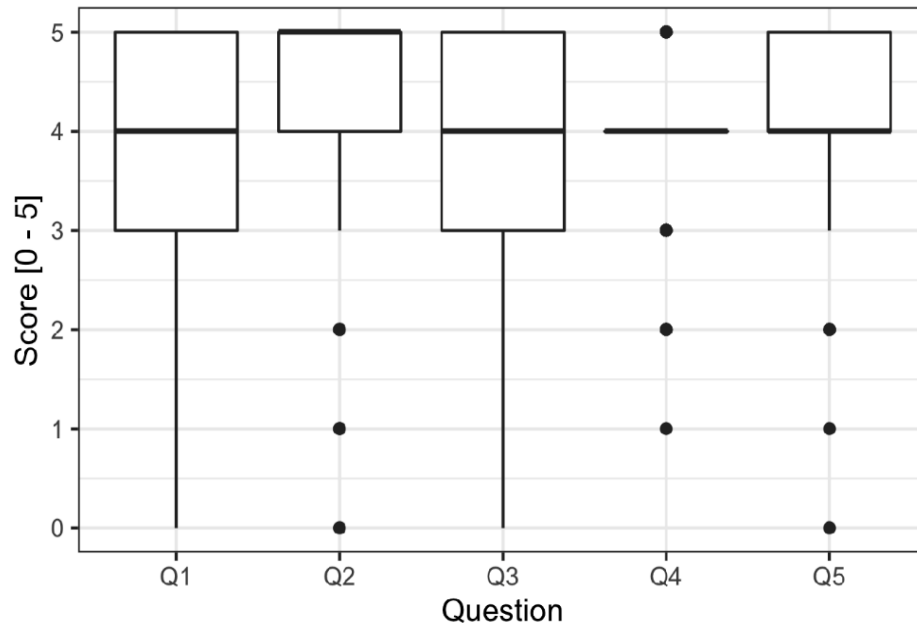
La Figura 71 indica las medias y las desviaciones estándar sobre el factor de *relevancia*. Dos ítems, en esta segunda subescala, tuvieron una puntuación media superior a 4,0. Más del 90 % de los participantes están de acuerdo (muy o ligeramente) destacando la relevancia de estos recursos 3D (RV y RA). El 94,00 % de los participantes está de acuerdo en que el contenido proporcionado con estas herramientas tiene un alto valor en su carrera profesional, sin embargo, el 90,30 % está de acuerdo en que estos recursos 3D no son obligatorios para ellos, ya que conocían previamente los contenidos.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL
ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Figura 71

Puntuaciones medias y desviaciones estándar del factor de “relevancia” (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).



Q1: The theoretical contents have been relevant to me after the visualization of the exercises in 3D

Q2: The content uploaded to Moodle of this type of resources has a high value for engineering degree

Q3: What this type of resource in 3D provides is not necessary for me, since I know most of the conte

Q4: The contents provided by this type of resources in 3D will be useful in my professional career

Q5: Augmented Reality could improve my learning in these graphical subjects

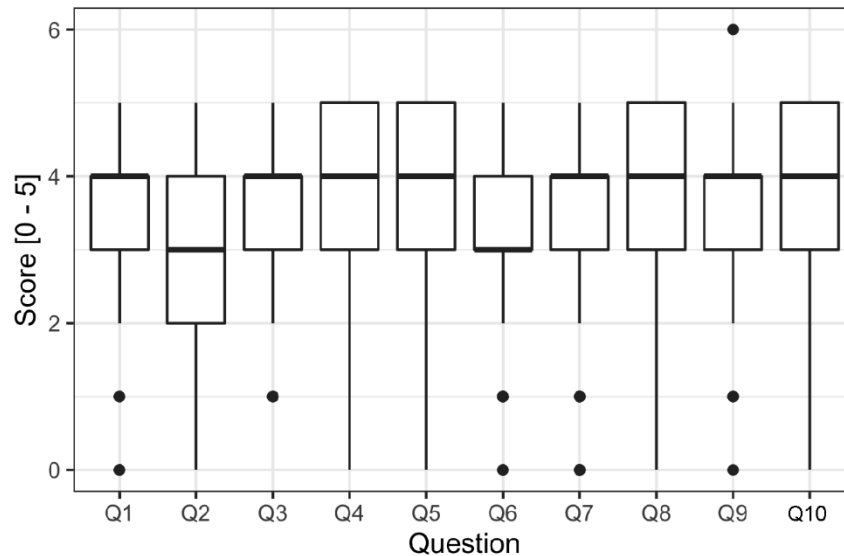
Los datos estadísticos correspondientes al factor de *confianza* se muestran en la Figura 72. Un ítem de este tercer factor tuvo una puntuación media superior a 4,0. Este ítem se refiere a la comprensión de las mejoras gracias a la observación de los ejercicios en 3D. El 93,30 % de los alumnos encuestados estuvo de acuerdo (muy, normal o ligeramente) con esta comprensión de las mejoras en los contenidos, debido a la visualización de los ejercicios con el apoyo de la herramienta 3D, y a la realización de una comprensión mejor (91,00%), más claramente (94,00%). Sin embargo, cerca del 87% de los participantes declararon que podrían hacer los ejercicios sin la ayuda de estos recursos 3D. La Figura 72 muestra la puntuación media más baja de todo el cuestionario (2,85), correspondiente a la consulta sobre los contenidos abstractos de los sistemas diédrico y axonométrico que son para los estudiantes. En este contexto, es importante señalar que, no todos los estudiantes de grado superior tenían conocimientos previos sobre estas disciplinas.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Figura 72

Puntuaciones medias y desviaciones estándar del factor de “confianza” (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).



- Q1: I consider myself capable of performing the exercises without this 3D resource
 Q2: The theoretical contents (Dihedric system and Axonometric) are so abstract that both present difficulties to be studied through the 3D modelling tools
 Q3: The subject contents have been studied and better understood after observing the 3D exercises
 Q4: The previous contents of technical drawing that I knew so far have become clearer with the use of these 3D courses
 Q5: The understanding of the exercises improves with the observation of the resource in 3D
 Q6: Performing the paper exercises would have been very difficult without this kind of 3D resource
 Q7: I would pass a test on an exercise that I just saw in 3D
 Q8: My level of understanding of 3D exercises is high
 Q9: These drawings / resources in 3D have improved my learning (with respect to the contents) and the level of understanding of the exercises, facilitating their interpretation
 Q10: Observing the 3D drawings through the head-mounted glasses for Virtual Reality improves the comprehension of the exercises

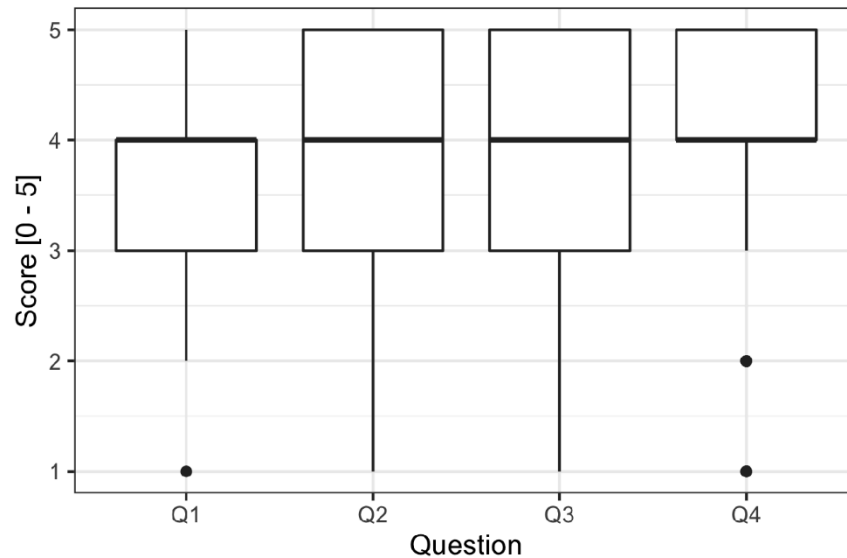
El factor de *satisfacción* que arrojó la puntuación media más alta (4,09), correspondió a la pregunta relativa al estudio de los ejercicios a través de los instrumentos 3D (Figura 73). Los participantes reflejaron estar de acuerdo (normal o muy de acuerdo) con el hecho de que estos recursos digitales aumentan su nivel de satisfacción al observar los ejercicios por primera vez (70,90 %), al resolver ejercicios (70,10 %), o incluso mejor cuando se estudian los contenidos (79,10 %).

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Figura 73

Puntuaciones medias y desviaciones estándar de la subescala de “satisfacción” (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).



- Q1: The first impression when I observed the exercises performed in 3D was very good with respect to the ease in its realization
 Q2: My initial impression regarding the ease of understanding the 3D material even if we had not had it
 Q3: Using these exercises in 3D increases my degree of satisfaction regarding the resolution of exercises
 Q4: I enjoyed studying the realization of the exercises through these resources in 3D

3.3.2.1. Resultados de los datos según el género

Se realizó una prueba *t – student* independiente para evaluar las diferencias en las puntuaciones medias de hombres y mujeres en los cuatro factores. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre hombres y mujeres en ningún factor (*Atención* – $t(132) = 0,03$, $p = 0,01$; *Relevancia* – $t(132) = -0,04$, $p = 0,01$; *Confianza* – $t(132) = 0,07$, $p = 0,01$; *Satisfacción* – $t(132) = 0,14$, $p = 0,01$).

Los participantes masculinos tuvieron unas medias más altas en todos los factores (*Atención* – $\mu = 3,80$; $\sigma = 1,01$; *Relevancia* – $\mu = 3,88$; $\sigma = 1,00$; *Confianza* – $\mu = 3,82$; $\sigma = 1,01$; *Satisfacción* – $\mu = 3,83$; $\sigma = 0,98$), mientras que los valores de las mujeres fueron: (*Atención* – $\mu = 3,78$; $\sigma = 1,07$; *Relevancia* – $\mu = 3,85$; $\sigma = 1,06$; *Confianza* – $\mu = 3,76$; $\sigma = 1,09$; *Satisfacción* – $\mu = 3,72$; $\sigma = 1,14$). La mayor diferencia fue monitoreada para el factor “*Satisfacción*”, con 11 puntos más alta de los hombres que las mujeres. Sin embargo, el factor más cercano para ambos sexos se encontró para “*Atención*” con 2 puntos de diferencia.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL
ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

3.3.3. La utilidad e idoneidad de los recursos 3D

La Tabla 6 muestra los resultados estadísticos descriptivos para las cuatro preguntas formuladas a los participantes y relacionadas con la utilidad del uso de los recursos digitales 3D. La visualización de ejercicios 3D potencia la adquisición de los conocimientos de cada alumno, relacionando la geometría espacial con el dibujo en dos dimensiones. La mayor puntuación media se asoció con una mejora de la comprensión de los ejercicios ($\mu= 4,15$) y con la mejora de la visión espacial ($\mu= 4,01$).

Tabla 6

Estadística descriptiva sobre la utilidad del recurso 3D

Preguntas relacionadas con la utilidad de los recursos 3D	μ	σ
La utilidad del recurso 3D mejora su visión espacial	4,01	0,97
La utilidad del recurso 3D mejora la comprensión de los ejercicios	4,15	1,10
La utilidad del recurso 3D para identificar sus errores y equivocaciones en el espacio	3,52	1,20
La utilidad del recurso 3D en la realización de los ejercicios en su hoja de papel	3,53	1,28

Los estudiantes visualizaron los ejercicios 3D, utilizando diferentes dispositivos (por ejemplo, móviles, tabletas, ordenadores, ordenadores portátiles y gafas 3D para RV). Se les preguntó sobre la idoneidad de uso de estos dispositivos para alcanzar nuestro propósito a través de una escala Likert 0-5. El 0 representa que el dispositivo no era adecuado, y el 5, muestra el valor más alto, lo que significa que es más adecuado. La Tabla 7 indica los resultados estadísticos de la idoneidad de estos dispositivos.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL
ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Tabla 7

Estadísticas descriptivas sobre la idoneidad de los dispositivos para visualizar los ejercicios 3D

Dispositivo de visualización 3D	μ	σ
Móvil	3,40	1,36
Tableta	3,39	1,58
Ordenador portátil o computadora	3,95	1,13
Gafas para Realidad Virtual	4,09	1,61

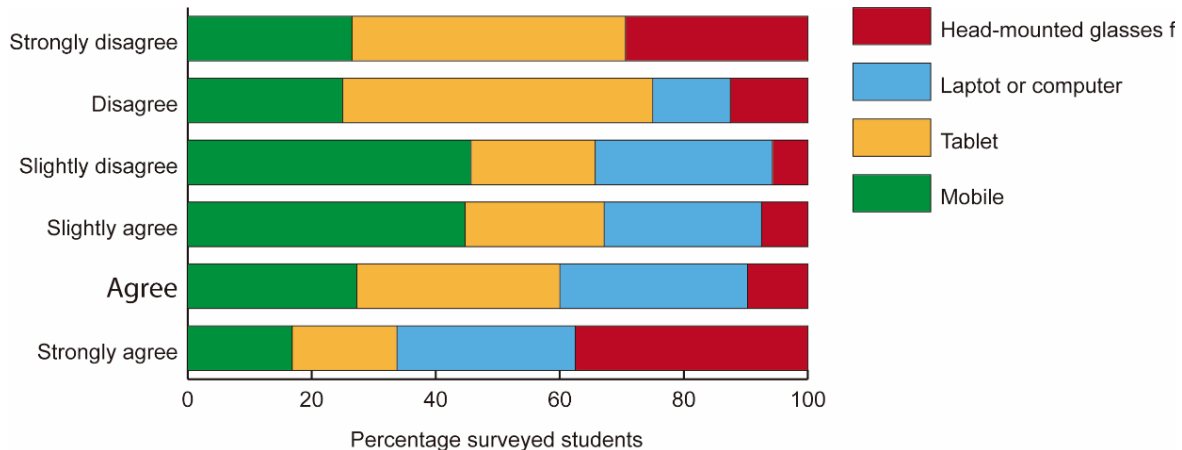
Los cuatro dispositivos evaluados tenían una puntuación media alta al estar por encima de 3, lo que significa que cada recurso 3D en sí era aceptado por el estudiante. Sin embargo, las gafas para la visualización de Realidad Virtual y el ordenador portátil o PC fueron los dispositivos preferidos con ($\mu = 4,09$; $\sigma = 1,61$) y ($\mu = 3,95$; $\sigma = 1,13$) respectivamente. No se detectó una preferencia clara por ninguna de las dos "herramientas de visualización" restantes, el "móvil" y la "tabletas", ya que sus medias eran bastante similares. El 63,83 % de los estudiantes obtuvo una puntuación de 5 (la nota más alta de la escala Likert) cuando se les preguntó sobre la idoneidad de las gafas de RV utilizadas. El porcentaje de alumnos que destinaron 5 puntos sobre la idoneidad de los ejercicios de visualización 3D a través de móviles fue del 20,93 %, a través de tabletas del 22,13 %, y a través de ordenadores y portátiles del 36,22 %. La Figura 74 indica la percepción de los estudiantes sobre cada dispositivo disponible para observar los ejercicios 3D.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Figura 74

Percepción de los estudiantes de cada dispositivo de visualización 3D (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).

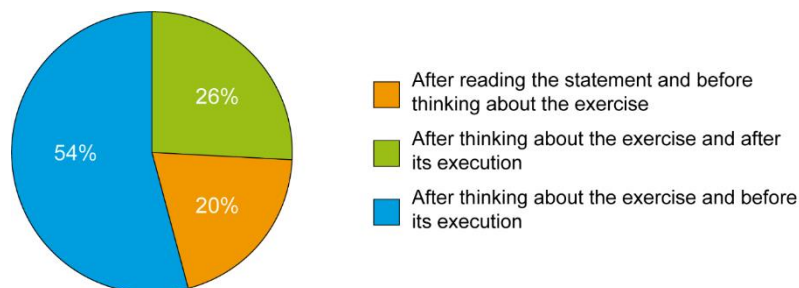


3.3.4. El momento de utilizar estas herramientas innovadoras

Un total de 128 personas de las 134 que respondieron a la encuesta indicando que el mejor momento para proceder con la visualización 3D era “*Después de pensar en el ejercicio y antes de su ejecución*”, una opción indicada tanto para estudiantes de grado como de posgrado (Figura 75).

Figura 75

Preferencias de los estudiantes sobre el momento óptimo para la visualización de los ejercicios 3D (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).



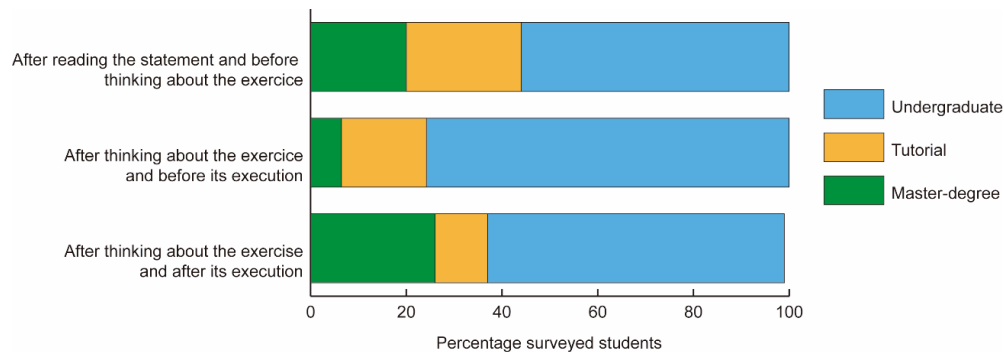
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

La Figura 76 muestra una comparación gráfica entre los tres posibles momentos para utilizar y emplear estas técnicas. Utilizando la técnica de visualización 3D, “*después de pensar en el ejercicio, pero antes de su ejecución*” fue la opción más seleccionada por los estudiantes de grado (60,26 %) y los estudiantes tutorizados (55,00 %). Mientras que, para los estudiantes de máster, la mejor opción para utilizar esta herramienta fue “*después de pensar en el ejercicio y después de su ejecución*” (43,75 %).

Figura 76

Desglose de las preferencias de los estudiantes sobre el momento óptimo para visualizar los ejercicios 3D por tipo de estudiante (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL
ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

3.4. Discusión

Al igual que Prince (2004), entre los resultados de la investigación destacan la influencia positiva de los elementos para el aprendizaje activo en los estudiantes de ingeniería. No existe duda de que la visualización 3D aporta un valor añadido a cualquier objeto a representar (Koeva et al., 2017). Pero en los campos educativos de dibujo técnico y de ingeniería, nuestros resultados coinciden completamente con lo encontrado en la literatura (Ayala-Álvarez et al., 2017). Ya que en una escala Likert de 5 puntos, los encuestados mostraron una media alta ($\mu = 3,80$; $\sigma = 1,14$) respecto a la utilidad del recurso innovador solicitado, dentro del cuestionario desde el punto de vista de los estudiantes. Como afirman Villa, Motyl, Paderno & Baronio (2018), los estudiantes tienden a presentar problemas de visión espacial en la comprensión de la forma 3D de los objetos a partir de sus representaciones bidimensionales. Sin embargo, como se reveló dentro de esta investigación, los estudiantes de máster presentaron una media de 3,00 ($\sigma = 1,08$); los estudiantes de grado 3.22 ($\sigma = 1,09$); y los estudiantes tutorizados 2.70 ($\sigma = 0,98$) sobre su propia evaluación sobre la visión espacial. Al igual que lo afirmado por Carbonell-Carrera & Saorin (2018), no se detectaron diferencias de género en la medición de la utilidad de los recursos 3D para mejorar su visión espacial de los hombres ($\mu = 4,01$; $\sigma = 0,97$) y mujeres ($\mu = 4,00$; $\sigma = 0,97$).

En lo que respecta al género, y a diferencia de lo afirmado por Caspi et al. (2008) y Yukselturk & Bulut (2009), nuestros resultados mostraron valores ligeramente más altos de motivación para los hombres ($\mu = 3,83$; $\sigma = 1,00$) al utilizar estas novedosas herramientas virtuales que para las mujeres ($\mu = 3,78$; $\sigma = 1,09$). Al igual que nuestros resultados, (Di Serio et al., 2013) investigaron la mejora en la motivación de los estudiantes de secundaria en España, y señalaron que su atención, interés, confianza y satisfacción aumentaron con la utilización de la Realidad Aumentada. Asimismo, la investigación desarrollada en estudiantes universitarios de ingeniería que aplican tecnologías RA para el estudio de la geometría descriptiva mostró un impacto positivo en su capacidad espacial (Gutiérrez de Ravé et al., 2016) y un mayor rendimiento académico y nivel de motivación (Martín-Gutiérrez & Meneses-Fernández, 2014). De hecho, nuestros hallazgos reflejan que las herramientas de RA aumentan la motivación de los estudiantes ($\mu = 4.16$; $\sigma = 0,92$). Encheva (2017) investigó sobre la mejora en el sector de la educación superior en Bulgaria, mediante la utilización de tecnologías para la Realidad Virtual y aumentada, y destacó sus potencialidades con respecto a un entorno de aprendizaje. Wojciechowki & Cellary (2013) también observaron una actitud positiva de los estudiantes al usar entornos de RA. Bazarov et al. (2017) mostraron la efectividad de la aplicación de la tecnología RA para estudiantes de ingeniería al contribuir en una mejora del conocimiento en relación con los materiales didácticos estándar. Asimismo, nuestros resultados coinciden con lo encontrado en otros campos de investigación, como Arte, Medicina y Tecnología Educativa (Cabero-Almenara et al., 2019), que documentan que la RA constituye un medio útil para facilitar el aprendizaje y la adquisición de conocimientos.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

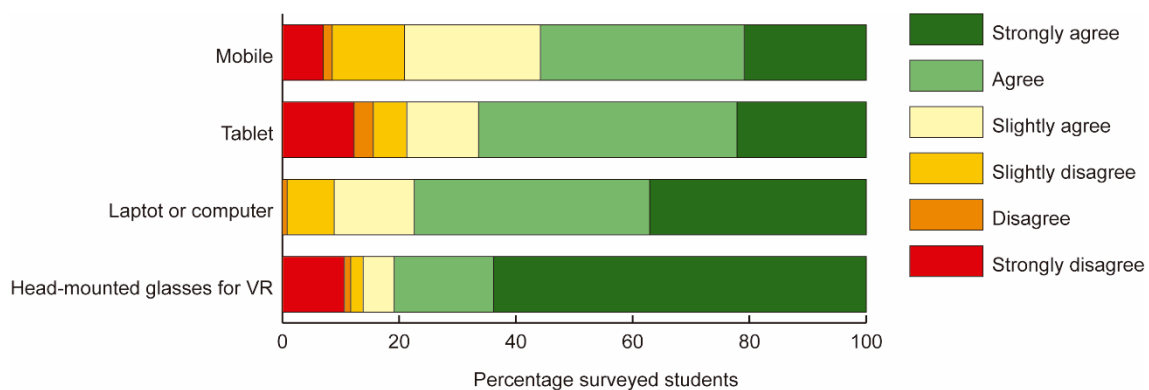
3. RESULTADOS PRELIMINARES DEL IMPACTO DE LOS RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D DENTRO DEL ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO Y DE POSGRADO

Los resultados obtenidos respaldan lo destacado por Serin (2020) sobre el mayor nivel de satisfacción mostrado por los estudiantes que utilizan estas tecnologías innovadoras y se divierten en el momento de su aprendizaje, frente a los métodos de aprendizaje tradicionales. La puntuación media en una escala Likert de 5 puntos fue de 4,90 ($\sigma = 0,94$). Nuestros hallazgos también avalan lo afirmado por Olmedo-Torre et al., (2017), respecto al aumento de la satisfacción de los estudiantes al introducir las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje. La puntuación media para el factor de *satisfacción*, monitoreada en su conjunto en esta investigación fue de 3,92 ($\sigma = 0,94$) en una escala Likert de 5 puntos. El 71,26 % de todos los estudiantes encuestados estuvo de acuerdo con la influencia positiva, en cuanto a la satisfacción de los estudiantes, gracias a la implementación de las herramientas TIC para la expresión gráfica en las titulaciones universitarias de ingeniería. Mientras que, autores como Olmedo-Torre et al. (2017) encontraron menores porcentajes (66 %).

Otros autores no mostraron ninguna preferencia clara por ninguna de las herramientas de visualización utilizadas (Ayala-Álvarez et al., 2017), sin embargo, los resultados obtenidos muestran una clara inclinación por las gafas de RV, que tuvieron una de las calificaciones más altas. El 63,8 % de los estudiantes estuvo totalmente de acuerdo con la idea de que las gafas RV eran un dispositivo adecuado para visualizar estos ejercicios, debido a su forma de proporcionar a los usuarios un entorno más realista (Park et al., 2020). Sin embargo, y de acuerdo con lo encontrado por Ayala-Álvarez et al., (2017), no hubo una clara preferencia por ninguna de las otras tres herramientas de visualización de dispositivos (móviles, tabletas y computadoras) (Figura 77).

Figura 77

Evaluación de los estudiantes de cada dispositivo de visualización 3D. Nota: Que las gafas no se utilizaron para el grado de Ingeniería Electrónica (Fuente: Triviño-Tarradas et al., 2021).



CAPITULO 4. La interpretación de la torre del Homenaje del castillo de Montilla

4.1. Estado del arte

“Las permanencias son un pasado que aún experimentamos.” - Aldo Rossi, 1966.

Con el paso del tiempo la intervención humana en el patrimonio urbanístico de las ciudades añade capas de historia (Velasco, H. 2012), que, solapándose en el tiempo, va a transformarse por completo el aspecto final de un entorno o lugar. Esa intervención, la mayoría de las veces, suele relacionarse con los diferentes aspectos socioeconómicos de las diversas culturas o pueblos que habitaron dicho territorio. Además, cuando la importancia de los hechos fue notable, estas intervenciones quedarían plasmadas en las diferentes crónicas locales, o incluso de grado superior según la repercusión que hubiesen tenido los hechos. *“En ‘La arquitectura de la ciudad’, del mismo autor (Rossi & Tarragó, 1982) cuya cita antecede, se introduce por primera vez el concepto de permanencias urbanas, entendiéndose por las mismas aquellos elementos de presencia y función relevantes en la variable espacio-tiempo que marca el particular desarrollo y evolución de cualquier ciudad, desde sus orígenes hasta la actualidad”* (Cabello, 2018).

Por otro lado, las herramientas con las que se trabajan en las disciplinas de la ingeniería gráfica permiten representar de una manera hiperrealista aspectos históricos-artísticos de un lugar en una época determinante de su historia pasada.

De esta manera, esta tesis doctoral coincide y contribuye con la filosofía del proyecto Arqueología somos todos del grupo de investigación Sísifo de la Universidad de Córdoba: *“queremos reintegrar a la sociedad lo que en última instancia le pertenece: su patrimonio arqueológico; ...entendemos que para ello la arqueología necesita caminar más allá de los círculos estrictamente académicos y, sin perder jamás esa referencia, ni abandonar la investigación (antes al contrario, por cuanto ésta representa la esencia de nuestro trabajo, garantizando la retroalimentación del proceso) conectar con el ciudadano de a pie, con los jóvenes y también con las redes turísticas”*.

Por otra parte, en cuanto a las teorías, tratados y estudios sobre la puesta en valor del patrimonio tal y como ha llegado a nuestros días, se dispone de diversos trabajos que desde la época de la posguerra hasta la actualidad otorgan un retorno a la ciudad tradicional europea que recupere su historia, su arquitectura y patrimonio.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Así, Alois Riegl en su libro “El culto moderno a los monumentos. Carácter y origen” (Riegl & Riegl, 1987) se adentra en el concepto de “monumento” y al mismo tiempo diferencia entre aquel, que es histórico, del monumento artístico. Por otro lado, Gustavo Giovannoni, en sus libros “La cuestión de la Arquitectura en la Historia y en la Vida” y “Vieja ciudad y edificación nueva” (Roca, 2016), resalta simultáneamente el valor de uso y el valor museístico del patrimonio urbano, a través de los siguientes tres principios: (1) cualquier fragmento urbano antiguo debe ser integrado en un plano regulador; (2) el concepto de “monumento histórico” como la relación entre un edificio singular y su ambiente urbano; y (3) la restauración con un criterio de clarificar las relaciones entre sí de cada una de las partes de un conjunto urbano.

En la misma línea de investigación, Aldo Rossi tratan de desvelar los aspectos pedagógicos de la ciudad antigua para poder utilizar las “causas de sus bellezas” en futuros desarrollos urbanos, respectivamente, en la “Construcción de ciudades según principios artísticos” y la “Arquitectura de la Ciudad”. En este último, se introduce el concepto de las *permanencias* como aquellos elementos tanto urbanos como territoriales con relevancia para perdurar con el paso del tiempo y que son vividos de diferente manera según la sociedad que los herede. Como dice Rossi, con sus propias palabras: *“la persistencia se convierte en la generatriz del plano; esta generatriz es el objetivo principal de la investigación urbana, porque, con su comprensión, es posible remontarnos a la formación espacial de la ciudad”*.

En este contexto, en su libro dedicado a la plaza de la Corredera de 2017, (Cabello, 2017) considera que tanto los hitos arquitectónicos como los elementos relevantes del territorio persisten a lo largo de los tiempos en una huella histórica que, van dejando los distintos pueblos que habitaron la ciudad, hasta nuestros días. De hecho, no deja huella solamente la envergadura física del hito arquitectónico o urbanístico que antaño fue, sino el *“distinto uso según la época y sus propias necesidades, ...es huella de la gran actividad humana que se dio en ella... En efecto, lo mismo que la historia de la ciudad nos deja huellas de su pasado, en el momento que se pierde la conexión espacio-actividad-relaciones humanas, la huella urbana puede convertirse en un vestigio urbano de difícil integración con el resto de la ciudad, como ocurre por ejemplo con el Circo y Anfiteatro romanos de Mérida: ambos se encuentran dentro de la ciudad pero como un conjunto amurallado y desarticulado en cuyo interior se hallan unos espectaculares restos arqueológicos, que muestran al mundo la grandeza de un imperio ya desaparecido”*.

En el tratamiento actual de la problemática de la gentrificación, terciarización, desfuncionalización y tematización de los hoy monumentos históricos o yacimientos arqueológicos parte de estudios recientes de varios autores que han tratado este fenómeno con posterioridad a los años 80 (Blanco et al., 2014) (Díaz-Parra, 2015); (Janoschka et al., 2014). Joan Busquets ve en la rehabilitación, una herramienta para comprender la realidad histórica existente. En este sentido son interesantes las siguientes obras del arquitecto catalán:

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

“Evaluación de las necesidades de rehabilitación” y “Rehabilitación urbana: evolución de su contenido teórico e influencia en la práctica urbanística reciente”.

En dicho contexto, en España, las distintas administraciones públicas han tomado conciencia de la necesidad de la restauración, mejora y conservación de nuestro patrimonio cultural, tanto material como inmaterial. En la arquitectura defensiva medieval, en 2010 el Gobierno de la Nación aprueba el Plan Nacional de Arquitectura Defensiva, en el que se considera como tal a *“todas aquellas construcciones que se han erigido a lo largo de la historia para la defensa y el control de un territorio, del cual forman parte indisoluble”*. En 2015, siguiendo las directrices de este plan, se publica *Patrimonio Cultural de España* nº 9 dedicado por completo a la arquitectura defensiva bajo la dirección de Alfonso Muñoz Cosme, quien destaca en la editorial de la revista que la necesaria *“conciencia del valor de este patrimonio es antigua, pero no siempre encontró una adecuada protección. Ya Antonio Ponz escribía en 1777 en su Viaje de España: Uno de los abandonos más dignos de compasión que hallo por cuantas partes he viajado y voy viajando en España, es el de estas fortalezas y castillos, cuyo respetable aspecto daba a los pueblos y ciudades (pues casi todos y todas los tenían) un aire de majestad”*.

A nivel autonómico, Andalucía dispone desde 2005 del Plan de Arquitectura Defensiva de Andalucía (PADA), que persigue el fin de completar el inventario de estas construcciones y establecer medidas para su conservación y para la investigación, así como la difusión de los valores históricos y culturales. Sin salirse de este ámbito administrativo, el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, en la *Guía Digital del Patrimonio Cultural de Andalucía* (Fernández Cacho et al., 2017) tiene inventariado un listado de torres defensivas de toda la comunidad y, por provincias, un listado de todos los castillos datados en el período de la baja Edad Media. Cabe destacar la ficha técnica de paisaje de interés cultural *Paisaje de Ategua y Torreparedones*, que se define como *“la relación de intervisibilidad de dos hitos que son testigos de sendos asentamientos protohistóricos para la dominación del territorio”*.

En el ámbito privado, se encuentra la Asociación Española de Amigos de los Castillos (AEAC), cuyos fines son la contribución *“a la conservación, revitalización y protección, moral y material, del patrimonio monumental fortificado español y estimular el estudio, conocimiento e interés por nuestros castillos, poniendo de relieve y propagando su importancia artística, histórica y cultural, de modo que se fomente su conocimiento y se facilite con medios adecuados la labor investigadora”*. Así, en 1998, con ayuda del Ministerio de Cultura, esta asociación realiza y publica *El inventario de arquitectura defensiva española*, uno de los inventarios más completos que existen, con más de 10.400 registros elaborados por especialistas, donde se ofrece información básica sobre las fortalezas (localización, estado de conservación, historia, etc.). Desde 2013, se puede acceder al inventario por internet de forma interactiva, para que los internautas puedan sugerir mejoras o actualizaciones a las fichas, que serán, en su caso, modificadas tras ser corroboradas. La idea perseguida por la AEAC es implicar de esta forma a la sociedad en la protección y

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

conservación de los castillos, mediante el conocimiento a través del acceso libre al inventario, y la posibilidad de mejorarlo, haciéndoles partícipes del trabajo final, y sintiéndose directamente implicados en su conservación.

EL doctor arquitecto Ignacio Gil publica (Gil Crespo, 2013) su tesis doctoral “*Fundamentos constructivos de las fortificaciones fronterizas entre las coronas de Castilla y Aragón de los siglos XII al XV en la actual provincia de Soria*”. El autor plantea el estudio de la razón constructiva del sistema fortificado fronterizo mediante: el conocimiento de los detalles históricos que originaron los enfrentamientos entre las coronas de Castilla y Aragón, su desarrollo mediante herramientas historiográficas y analizar las características naturales del territorio en litigio mediante instrumentos cartográficos; el conocimiento y análisis de los tipos arquitectónicos y las tradiciones constructivas empleadas en las construcciones castrenses en el ámbito temporal que abarca el título de su tesis; la realización de un estudio general sobre el sistema fortificado a escala territorial; y la investigación de la tipología arquitectónica, poliorcética y constructiva del conjunto de estas fortificaciones bajomedievales fronterizas.

En cuanto a la Historia de España relativa a la época de la arquitectura defensiva que se pretende sea objeto de este trabajo de investigación, se ha consultado la obra de F. Díaz-Plaja, M. Ballesteros Gaibrois, José Enrique Ruiz-Domènec y Luis Suárez, entre otros. No obstante, parece interesante destacar el artículo de M^a. Concepción Quintanilla sobre las diferentes estructuras de poder que se tejían en el *estado señorial nobiliario* de los distintos reinos cristianos de la península ibérica, señalando los castillos como símbolo de jerarquía entre la nobleza: “*La fortaleza señorial alcanzaba, indudablemente, el sentido de espacio simbólico por excelencia, el lugar donde mejor podía proyectarse la imagen del poder señorial, y el ámbito más significado de relación entre el poder y la escena. Los castillos eran exponente del poder militar del señor, lugares de corte, centros de percepción de rentas, y, desde luego, podían representar el papel de sede de la administración de justicia señorial, don desarrollar juicios, y apresar condenados*”.

En el caso del castillo de Montilla, son referencias obligadas los trabajos del periodista, además de origen montillano, F. Solano Márquez, *Pueblos cordobeses de la A a la Z* ¹⁵ de 1976; y del cronista oficial de Montilla, maestro y licenciado en Geografía e Historia, también natural de la misma localidad, José Rey García, *Montilla en la mirada* de 1988 y, sobre todo, *El castillo y la villa medieval de Montilla* de 2017, donde el autor declara que “*el castillo de Montilla carece de una historia bélica que lo destaque, ni en él tuvo lugar ningún hecho trascendente que dejara huella en las antiguas crónicas. Sin embargo, goza de la singularidad de ser la cuna y residencia de Alonso de Aguilar y de Gonzalo Fernández de Córdoba, el Gran Capitán, dos excepcionales personajes cuya relevancia les hizo*

¹⁵ En alusión a Montilla, por la M.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

merecedores del programa iconográfico del pabellón de San Martín en la Plaza Mayor de Salamanca, junto a las efigies de los grandes militares y conquistadores españoles”.

Por otro parte, en el artículo *Las tercias pertenecientes al marquesado de Priego* de M^a Ángeles Jordano, 2013, se detalla el origen del edificio actual, o *alhorí*, que se erige sobre las ruinas de lo que antaño fue morada del Gran Capitán; en palabras de la propia autora: “*ejemplo de la arquitectura protoindustrial destinada al almacenamiento de productos del campo –fundamentalmente grano– en tierras señoriales*”. Además, se tiene la suerte, como la misma Ángeles indica de conservar “*los planos originales del alhorí de Montilla, también conocido como graneros del duque, en el Archivo Ducal de Medinaceli, arroja una valiosa información para comprender su estructura y funcionalidad. Están firmados por el arquitecto Juan Antonio Camacho y fechados en 1723*”.

Se ha considerado oportuno tratar no solo planimetría, sino dibujos, grabados, fotografías de carácter histórico y que sean relevantes para desvelar la imagen del perdido castillo. Así, “*cualquier estudio sobre el castillo y su entorno debe acudir indefectiblemente a los planos de Camacho*” (Rey García, 2017), ya que el arquitecto cordobés, además de definir la obra de nueva planta que concibe para el alhorí, integra su proyecto con el entorno urbano, dibujando con abundancia detalles de diversas calles de las proximidades del castillo. Asimismo, se dispone también de otros grabados anteriores, del siglo XVII en concreto, correspondientes al viaje que Cosme de Médicis realizó por la España de la época; en esta ruta europea, su comitiva llegó a Montilla por el camino de Aguilar, procedente de Lucena, de manera que en un paraje próximo a la villa realiza un grabado uno de los miembros de la expedición llamado Pier María Baldi, arquitecto y pintor barroco italiano. Otros dibujos documentados e interesantes son el realizado en 1639 por fray Francisco Espejo, “*aunque el propio autor confiesa que es copia de una ilustración de un libro de 1511*¹⁶”, (Rey García, 2017); y los dibujos realizados por José Morte Molina en 1888 en sus *Apuntes históricos de Montilla* donde, según Rey García, se sustentan en la descripción de un cronista anterior llamado Dámaso Delgado (también del siglo XIX).

Es interesante mencionar para el estado del arte sobre este punto la reciente tesis doctoral de M^a Auxiliadora Portero Delgado defendida el pasado abril de 2020, *Aproximación al castillo de Montilla. Reconstrucción virtual*. En este trabajo de investigación, la autora ofrece un enfoque diferente a la tradicional disposición que anteriores investigadores exponen en sus obras, al mismo tiempo que aviva la controversia y el debate existente entre la disposición de diferentes elementos del edificio perteneciente a la época del Gran Capitán, como por ejemplo la torre del Homenaje.

¹⁶ Apenas tres años después de la orden de derribo del castillo del Gran Capitán.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

En cuanto al tratamiento actual de la arqueología sobre el estudio del castillo del Gran Capitán, se dispone, tras entrevista con el arqueólogo Raimundo Ortiz, de un informe de valoración general del yacimiento y propuestas de actuación realizado por él y otros expertos el año 2000. En dicho informe se apunta a la posibilidad de que una de las torres halladas en el subsuelo sea la torre del Homenaje del castillo del Gran Capitán, en concreto, por “*la potencia de las cimentaciones*” halladas.

Por último, se va a exponer el estado del arte de la Realidad Mixta aplicado al patrimonio, principalmente a nivel académico. De este modo, en un primer punto cabe destacar la tesis doctoral de Jesús Estepa Rubio, presentada en esta Universidad de Córdoba en 2017, titulada *Aproximación geométrica y espacial y reconstrucción virtual de la iglesia de Santa María de Cazorla a través de sus ruinas*, en la que se realiza una reconstrucción virtual de un edificio histórico del que sólo se conocen sus ruinas, pero con la aplicación de los conocimientos de geometría espacial, dibujo técnico, expresión gráfica y fotográfica. Tal y como su autor indica: “*El dibujo ha sido unas de las principales labores de la presente investigación, hasta el punto tal que el contenido gráfico de la misma ilustra ampliamente la práctica totalidad de los aspectos conceptuales abordados en el trabajo*”. De esta manera Estepa Rubio, tras un estudio de las iglesias renacentistas jienenses, visualiza gráficamente una hipótesis del recinto religioso sobre sus ruinas para después levantarlo mediante la RV. Nótese que en la investigación de Estepa Rubio no se alcanza el uso de la RA, siendo esta una de las vías de posible investigación que quedan abiertas y una de las diferencias con esta tesis doctoral que pretende, modestamente, llegar a su aplicación en el metaverso.

Figura 78

Resultados de la tesis de Jesús Estepa Rubio: esquema gráfico del espacio interior de la iglesia sobre fotografía de las ruinas existentes (a) y recreación virtual del mismo (b)(Fuente: Jesús Estepa Rubio, 2018).



4.2. El castillo del Gran Capitán

Al igual que otros castillos españoles de la misma época y sobre todo los ubicados en zonas de notable influencia musulmana, el castillo del Gran Capitán se integra dentro de un mecanismo de imposición de una nueva forma de gobierno u ocupación. Las condiciones en las cuales se desarrollan este tipo de edificaciones se remiten a la necesidad de establecer señorío, siendo éste el objetivo que pretendió el castillo de Montilla en su momento. Mediante un conjunto trapezoidal con varias torres correspondientes a los señores de Aguilar y donde nace Don Gonzalo Fernández de Córdoba y Henríquez de Aguilar, conocido como el Gran Capitán, y sobre quien se hará debida referencia posteriormente.

Lo que destaca en este caso es que los castillos de la época de la baja Edad Media, sobre todo la relacionada con la Reconquista tardía, se construían con dos finalidades principalmente. O bien consistían en las típicas fortalezas tipo castillo o se conformaban como un castillo tipo palacio, definidos así por su relación con la nobleza y su empeño por autodefinirse en función del poder centralizado de la monarquía. En este contexto, surge el castillo de Montilla, como un referente en relación con los conflictos entre los nobles, que acababan de redefinir su papel en los territorios reconquistados, y los reyes, que iban ganando poder y conformando la idea de monarcas absolutos en contraposición con los posicionamientos feudales pretendidos por la nobleza emergente.

Otro aspecto importante sobre los castillos de esta región, Córdoba, alude a la disposición de elementos orientalizantes. Un ejemplo puede ser el de Alfonso X, quien solicita el concurso de artesanos musulmanes en la construcción de la capilla real de la ciudad. En este sentido, Torres Balbás informa en torno a la contratación de alarifes mudéjares quienes aportan no solo conocimiento sino tendencias tanto en obras sacras como defensivas. *“La hibridación resultante se relaciona con un tipo de construcción en la que realmente es imposible determinar la influencia de albañiles y constructores cristianos o musulmanes, es decir, un tipo de arquitectura propia de la zona”* (Cómez, 2006).

Nuestro castillo se ve influenciado sobre todo la influencia de los castillos fortaleza. La visión poliorcética también es dominada por la presencia de detalles, sobre todo aquellos que conforman las diversas fortificaciones especialmente en el sur de España. Así mismo, en el caso de los castillos que cumplen una función defensiva y al mismo tiempo residencial, se observa una relación directa con el arte mudéjar en cuestión de decoración y preferencia por las figuras estilizadas que identifican la modalidad musulmana.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Por otra parte, otro contexto que se debe asumir es que en un principio *“estas construcciones surgen como consecuencia tanto de un poder real relativamente débil como de un poder señorial ambicioso que define la necesidad de construcciones cada vez más complejas y determinadas por el requerimiento de establecer su fortaleza”* (Pérez, 2000). De esta forma el castillo defensivo lega su condición a una forma de afirmación de dominio de la nobleza.

“En torno a este concepto se formulan construcciones dedicadas fundamentalmente a la suntuosidad, el lujo y el confort de los nobles” (Weissmüller, 1967). En estas construcciones lidera la presencia del ladrillo, típico de las edificaciones musulmanas. Así mismo el uso de tapias de tierra es una técnica ampliamente aplicada, que proviene del estilo musulmán de fabricación. La inclusión de casas fortificadas rodeadas de cursos de agua y de vegetación es un factor dominante de la baja Edad Media. Las plantas rectangulares en las casas fortificadas, de clara intención militar, se encuentran suavizadas con elementos decorativos que incrementan el confort en su interior.

Durante la Reconquista existieron numerosos personajes con diferentes grados de influencia sobre la futura construcción de la España global. Los diferentes reinos que van conformándose a partir de la recuperación territorial dan origen a conflictos de diversa índole. En ellos se mezclan ambiciones personales y profesionales lo que da lugar a la aparición de algunos personajes particulares.

Este es el caso de Gonzalo Fernández de Córdoba. Fue un connotado militar castellano, nacido en Montilla en diciembre de 1453 y fallecido en Granada el año 1515. Debido a su contribución en las diversas confrontaciones bélicas en las que la corona castellana participó se ganó el apelativo de “Gran Capitán”. Emparentado con la casa de Aragón por su madre, Doña Elvira de Herrera y Enríquez, se considera como un ejemplo típico de la nobleza castellana en la región andaluza. Fue criado en Córdoba, y se incorporó como paje en el séquito del príncipe Alonso y en el de la princesa Isabel. Esta relación directa con la monarquía en desarrollo le permitió su desarrollo como militar al servicio de los Reyes Católicos.

Ahora bien, su principal referencia militar se relaciona con la campaña italiana en contra de Francia y como parte del ejército leal a los Reyes Católicos. *“Se puede hacer referencia al Gran Capitán como un innovador y es en el sur de la península itálica donde demuestra su valor estratégico y capacidad táctica”* (Jiménez, 2004). Su contribución va mucho más allá de las batallas, ganadas o no por sus tropas, y se refiere fundamentalmente a una serie de estrategias que cambian la forma del ejército real. El surgimiento de dicha genialidad militar tiene relación con la estructura social de las familias nobles emergentes del periodo posterior a la Reconquista. Gonzalo es de hecho el segundo hijo y por tanto no es el heredero directo del mayorazgo de los Aguilar, es decir, en este caso, del título condal de su padre, Don Pedro

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Fernández de Aguilar, (Conde de Priego) no recae directamente sobre él. Así mismo, “*su formación palaciega alejada de la casa paterna da cuenta de la condición que le acompañará en su infancia y adolescencia*” (Molina, 2003). En este sentido, es común observar que, en estas familias nobles de la España de la baja Edad Media, se estilaba el desarrollo de una carrera militar que acumulase éxitos y, por lo tanto, méritos para la adjudicación de un señorío. La confrontación, sobre todo en relación con el papel que jugaría Pedro Fernández de Córdoba, el primogénito, es inevitable y culmina con el derribo del castillo fortaleza en el año 1508.

Sin embargo, en ese momento la tipología de sociedad va perdiendo fuerza y, generándose confrontaciones entre la nobleza y la corona de los reyes católicos. En este caso, el futuro Gran Capitán desarrolla una carrera militar al servicio de la corona, y es allí donde cosecha grandes éxitos. En el caso de este personaje, en parte, objeto de la investigación, lejos de conformar una desventaja, su condición de segundón en su familia se constituye como el estímulo necesario para su afianzamiento en la carrera militar. Señala Jiménez (2004) que en esa época era propia: “*la milicia como medio de ascenso social, directamente relacionado con el servicio al Estado*” (p. 193).

La figura de González de Córdoba representa un ejemplo de ascenso por mérito propio y sobre todo de la delicada época que le correspondió vivir. Sus principales méritos comienzan a surgir en la campaña de Granada, en la misma, se destaca como soldado en el asalto de Antequera y en el sitio de Tájara. Se define como un capitán de hombres y como un estratega en ciernes que, posteriormente, lograra exponer en su mejor versión para la campaña italiana de los Reyes Católicos. Un hecho por el que se hace conocido es su capacidad como ingeniero de combate, en la campaña de Granada. En la misma desarrolló una torre de asedio con puertas de casas de las poblaciones vecinas. Ya se demuestra el carácter innovador que posteriormente lo hará famoso. En este episodio bélico, demuestra un valor innegable al entrar en la plaza conquistada en la primera fila de batalla, todo un suceso para el cambio paradigmático que comenzaba a gestarse en las estrategias militares de la época en la que los nobles no participan del combate directo.

Así mismo, en este periodo demostró su genio político y negociador, pues gracias a su concurso Granada se rinde a los Reyes Católicos, finalizando de esta manera la Reconquista. Su participación en estos sucesos contribuyó a la consolidación de su reputación no solo como estratega en el término militar, también en el político y en la construcción de un mecanismo de negociación que impulsó el entendimiento. Es notable la relación con el monarca nazarí Boabdil, con quien estableció una relación de amistad relativa pero real para la época.

4.3. Arquitectura defensiva en la baja edad media

Es necesario puntualizar el origen de las diferentes edificaciones construidas con fines defensivos en la Edad Media sobre todo en la región noreste de Europa. La región a la que después llamaríamos España se encontraba en una encrucijada notable en todo el transcurso de la Edad Media. Confluencia que no solo era de carácter cultural, como muchos autores magnifican, sino religiosa, política y militar. Desde diversas perspectivas, la defensa era mucho más que una actitud o actividad de carácter objetivo, se trataba, además, de una necesidad fundamental en el funcionamiento de la sociedad de los reinos que componían el actual territorio español. En este caso, resulta de suma importancia comprender que la zona correspondiente a la península Ibérica se correspondía con una en constante conflicto, derivado de la conquista musulmana y, sobre todo, por la existencia de numerosos reinos en constante pugna territorial. De este hecho, se ha de comprender la presencia de numerosas edificaciones a las que se harán referencia en el presente estudio.

Para establecer una correlación histórica acertada, es necesario aproximarse al origen de la arquitectura defensiva europea de la Edad Media. Comprender por ejemplo que el castillo medieval identifica una constante en todo el territorio de los reinos hispanos e incluso de los que se encontraban bajo influencia foránea. Al respecto, Anderson (1972) indica “*un origen determinado por la presencia imperial romana que definió un estilo de construcción de villas amuralladas*”. Los principales materiales en estos casos, sobre todo los alejados de la metrópoli imperial eran fundamentalmente la madera y piedras en muros poco estructurados pero resistentes a las armas presentes en la época. Ballestas, balistas, catapultas o torres de asedio podrían ser defendidas mediante el uso de este tipo de materiales en murallas, así como castros romanos. Sin embargo, el mejoramiento armamentístico y las diferentes situaciones de conflicto, sobre todo en el caso de las regiones orientales del Imperio, establecieron la necesidad de construcción de muros más complejos y completos. Se indica entonces el surgimiento de las primeras fortificaciones que anteceden a los castillos defensivos convencionales. El primer ejemplo a gran escala es el amurallamiento de Constantinopla para el siglo V.

Se determina, además, la necesidad de construir refuerzos en forma de torres que permitan una defensa efectiva del perímetro y, para ello, la idea más práctica es la torre circular con distancias relativamente cortas, creando una cortina de protección para defender los flancos. Caso contrario, los muros rectangulares facilitaban la existencia de “puntos ciegos” en la apreciación del espacio de control de la edificación. De hecho, “*Vitrubio describe tamaño, materiales y distancias adecuadas para la construcción de las murallas y las torres defensivas*” (Gil, 2013). De esta forma, se genera un estándar en cuanto a las diferentes construcciones defensivas que se abordarían en lo sucesivo. Asumiendo la carga cultural impuesta por el Imperio Romano, se puede comprender como el enfoque de amurallamiento y torres defensivas tuviera un fuerte carácter simbólico, sobre todo en regiones que, a pesar de estar alejadas, se identificaban con las costumbres imperiales. “*Un aspecto notable de este tipo de edificaciones es que la verdadera influencia proviene del Imperio de Oriente*

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

(Constantinopla) por su vocación protectora y defensiva, contraria al espíritu de su contraparte occidental” (Villena, 1998).

Observando parte de la distribución de las edificaciones del Imperio Oriental, se entiende su influencia en las construcciones defensivas que se analizarán a continuación. *“Por ejemplo, el doble amurallamiento con torres prismáticas equidistantes a cincuenta y cuatro metros de distancia entre las mismas” (Villena, 1998).* Aquí, se puede contar con los orígenes de la edificación defensiva y sus características fundamentales de funcionamiento y edificación. Pero todo esto se debe poner en contexto. La idea del castillo defensivo se afianzó sobre todo porque la evolución del periodo medieval se dirige a la feudalización y hacia la caracterización de la tierra como factor de poder. Así mismo, la presencia de diferentes pueblos beligerantes en las fronteras europeas, como los vikingos, los musulmanes o los magiares, obligaron a un nuevo modelo de protección de los territorios conquistados y, de hecho, a una nueva relación de dependencia en torno a los hombres fuertes que, además, disponían de la capacidad para la construcción de castillos defensivos.

“De esta forma se puede asegurar que el enfoque histórico dominante en la Edad Media, el feudalismo, debe partir de su permanencia y éxito a la existencia de castillos defensivos, de allí su proliferación sistemática a lo largo del territorio europeo, sobre todo en las zonas más expuestas a los pueblos señalados anteriormente” (Anderson, 1972).

Los castillos son considerados las fases funcionales del sistema feudal porque permiten la acumulación de poder militar, económico y laboral. Las personas que hasta ese momento eran libres, cedían una parte de dicha condición en función de recibir la protección del señor del Castillo, convirtiéndose en vasallos.

“En efecto, siendo el centro de poder efectivo, se asume que también administra justicia y diseña el espacio territorial en función de su presencia” (Diago, 1988). En este contexto, se comprende como un castillo estimula la ejecución del poder político y militar, definiendo fronteras y caracterizando su entorno de diversas maneras. Una de las más importantes es precisamente la arquitectónica e histórica. Las formas van cambiando, pero el concepto sigue siendo la defensa y una especie de declaración de propiedad de carácter fáctico. La complejidad derivada del siglo X va dando espacio para estructuras cada vez más específicas, definidas por las características utilitarias del castillo. Los Keep o Donjon, Mota o Bailey, son las primeras experiencias de este tipo. El paso del tiempo acerca, nuevas formas más complejas y sobre todo integrales, que se adaptan a las condiciones geográficas de cada región como la representada por el castillo de Montilla.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Desde una perspectiva evolutiva, el castillo como sistema fortificado, se desarrolla inicialmente en el norte de Europa por diversas razones. La historia del feudalismo da cuenta de este proceso con diversos elementos determinados por la expansión y conquistas territoriales derivadas de la caída del Imperio Romano. Pero es, en las islas británicas y el norte de Francia, donde este sistema fortificado tendrá mayor incidencia por la presencia de los vikingos y sus constantes invasiones. La forma de violencia, particularizada por el pillaje, crea las condiciones para la aparición del castillo tipo Donjon sobre todo en las regiones de influencia normanda. Un ejemplo, es la torre rectangular o fortificación del Duque de Anjou, quien lo levanta después de la batalla de Conqueruil. *“Esta es una forma arquitectónica que predominará en las construcciones defensivas durante el siglo X, sobre todo, en Inglaterra y en algunas regiones del Mediterráneo”* (Anderson, 1972).

La torre rectangular o fortificación del Duque de Anjou puede considerarse como un punto de inflexión en la construcción y diseño de edificaciones defensivas. La idea fundamental es la durabilidad, pero, además, un sentido de permanencia del que hasta el momento habían carecido las construcciones de madera. Se pasa de muros de madera en elaboraciones rudimentarias y, sobre todo, provisionales, a muros de piedra que ofrecen un carácter duradero permanente y firme. Este es un punto importante e interesante en todo análisis historiográfico, porque se trata de ofrecer dos aspectos de los que no se consideraban importantes anteriormente. La tierra, como terreno, se convierte en un elemento de poder real para el señor feudal y, por ende, requiere de mecanismos de definición territorial que le faciliten la demarcación. El castillo funciona como elemento central del territorio. Así mismo, ofrece protección para los habitantes de la región, que pasan formalmente a convertirse en vasallos de quien puede permitirse la construcción del castillo. Posteriormente, la misma estructura social y legal va fundamentando la existencia del castillo defensivo como un elemento de definición política y militar.

“La tecnología militar va a la par del desarrollo de estructuras defensivas pasando de este tipo de edificaciones básicas como el Donjon a otras formas más estilizadas y elaboradas. Un tipo novedoso es el de mota o Bailey, que se construye como una loma artificial rodeada por un foso excavado directamente en la tierra circundante. Un puente de conexión con el exterior y edificaciones defensivas internas aun de madera.” (Anderson, 1975).

Se constata la necesidad de este tipo de construcciones defensivas en zonas de constante enfrentamiento. Como curiosidad, sobre todo en territorio alemán, las fortificaciones no se edificarán en piedra hasta bien entrado el siglo XII, debido a que dichas zonas se encontraban relativamente estables y pacificadas. De allí, la importancia del castillo construido con piedra en zonas, tales como en la península ibérica, Francia e Inglaterra, en las que los ataques eran más frecuentes, y existían constantes desavenencias, propias del conflicto territorial.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

“La evolución no se hace esperar y para finales del siglo XII se desarrollan grandes castillos, como recintos amurallados concéntricos y con almenas en las que se encierran los Donjon o los Bailey” (Weissmüller, 1967). La dinámica tecnológica tiene como centro temático la idea de defensa integral y la fortificación concéntrica ofrece este tipo de consideración. Se desarrollan torres de flanqueo con una planta cuadrangular perfectas para defender los lados de un castillo.

“Otro aditamento tecnológico proviene del Oriente Bizantino. Las Cruzadas conforman un momento clave en este desarrollo, porque permiten una sinergia con las técnicas de amurallamiento de las regiones del Cercano Oriente. Es emblemático el ejemplo de Constantinopla y estos conceptos desarrollados a través de muchos siglos llegan a occidente, sobre todo a Francia” (Torres Balbás, 1934).

Este tipo de fortificaciones presentan diversas murallas colocadas en sucesión, para dificultar el acceso de cualquier ejército y las labores de asedio. El castillo se encuentra normalmente en una zona elevada con dominio de los accesos y vista perimetral efectiva. Por lo que se tiene precisamente la idea que predomina y trasvasa a los castillos españoles proveniente de la suma de influencias, sobre todo, orientales que los cruzados terminan por establecer en Europa.

La influencia de estos modelos de protección territorial se establece, además, como formas de establecimiento de nuevos poderes políticos que transforman el paisaje social. El castillo pasa de ser refugio circunstancial a ser efectivamente la residencia del “Señor” feudal, y por tanto sede del poder político y de la organización territorial. Ahora bien, desde el punto de vista de la construcción en sí misma, la abundancia de piedra en las zonas en las que se verifican las cruzadas modifica para siempre el estilo de edificación en madera que casi desaparece para el caso de los castillos. La serie de construcciones defensivas existentes/conocidas que van desde el Mediterráneo hasta Tierra Santa, justifican el esfuerzo y generan un enfoque constructivo que perdura a lo largo de toda la Edad Media, llegando a territorio hispano con total propiedad.

En efecto, las plantas regulares y concéntricas con una torre principal, murallas con adarve, torres en esquina en áreas elevadas para facilitar la vigilancia, se convierten en el estándar del castillo defensivo medieval y en el origen de las fortificaciones existentes en la península. Es notable la presencia fundamental de obstáculos, pero lo ideal sería la ubicación del castillo para lograr una defensa del territorio lo suficientemente efectiva.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

En España este proceso tuvo sus propias condiciones y características, muy influenciadas por la ocupación musulmana. La larga travesía que implica la Reconquista y la hibridación cultural presente en el país es innegable en todos los sentidos. La primera gran característica debe anotarse a la resistencia militar de la ocupación musulmana.

“En este caso, se hace necesaria una red de comunicación que tiene como epicentro las fortificaciones que a lo largo de las vías y valles disponibles van apareciendo paulatinamente. Este criterio fundamentó las construcciones de atalayas y torres de vigilancia que proliferaron hasta puntos interesantes desde la perspectiva militar. Es decir, aun cuando no eran provisionales si eran de rápida construcción y particularmente diseñadas para permitir una rápida conexión territorial.” (Gil, 2013).

“Por otra parte, existe en la España de la Reconquista un marcado sentido militar de toda construcción realizada. No solo defensiva como la que caracterizó al resto de Europa, por el contrario, se trata de un modelo en el que se mantiene un sentido castrense en toda la edificación realizada. Un ejemplo típico son las iglesias fortificadas. Pero lo realmente destacable es que dicho proceso influyó marcadamente en la aparición de villas y ciudades que reforzaban el proceso de reconquista territorial.” (De Moxó, 1979).

La influencia de la fortificación musulmana en España termina por crear un modelo propio de la región. Abundan por ejemplo las figuras ortogonales y la complejidad interior. Ha de recordarse que los musulmanes combinaban la defensa con un sentido estético altamente desarrollado. Asimismo, existe una influencia definitiva de integración total de las estructuras para ofrecer fortaleza a la edificación. Para la Baja Edad Media, se impone el enfoque del castillo con una muralla exterior ligeramente más baja con flancos protegidos por torretas, desapareciendo el Donjon o el Bailey. Esto es el producto del desarrollo armamentístico, sobre todo en el caso del uso de artillería como se demostró en la caída final de Constantinopla en manos de los turcos.

Existen varias consideraciones a tener en cuenta en el territorio hispano. La primera es consecuencia de la Reconquista. La caracterización del castillo medieval clásico, como fortificación contra el vecino, mantiene mucho de ese tipo de empresa en la España de la Baja Edad Media. En efecto, mientras el resto de Europa entra en un periodo de calma relativa en el que los castillos pierden parcialmente su condición defensiva, derivando a unidades demográficas que darán como resultado las villas y los burgos, en España se mantiene un estado de guerra. Ante todo, la Reconquista, pero además, las guerras civiles castellanas, así como los conflictos fronterizos entre León, Castilla, Portugal, Navarra o Aragón, caracterizan la región hasta el punto de mantener la necesidad de edificaciones defensivas de amplio rango.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

“De esta forma, el castillo se convierte en un instrumento de feudalización tardía de España que entra a la zaga de otras regiones europeas en este proceso debido a la presencia musulmana y al proceso de la Reconquista” (Diago Hernando, 1996). La deriva histórica es diferente a la del resto de Europa, porque el contacto con otras naciones, así como la influencia musulmana, sobre todo en la comodidad y lujo evidenciada en sus construcciones incluso las militares, dan origen a un requerimiento particular en la construcción de castillos españoles.

En la construcción de castillos en España, especialmente en la zona cristiana, destaca la torre de Homenaje, colocada funcionalmente en una esquina, como centro temático de toda construcción defensiva de la época. Diferente de las versiones del resto de Europa, la torre del Homenaje es una zona en un conflicto muy particular, contra un enemigo que ocupa una porción considerable del territorio con un gobierno altamente centralizado. Por ello, el esfuerzo constructivo iba dirigido a ofrecer la mayor capacidad militar posible y ello implicaba dejar el mayor espacio para el patio de armas.

“Así mismo, la influencia musulmana deriva de la ocupación de edificaciones que iban conquistando. La eficiencia defensiva de las construcciones árabes simplemente se reforzaba con lo que la experiencia identificaba como un extra positivo. Por ejemplo, la adición de una torre de homenaje en cada alcazaba recuperada, la cual contaba con una sola entrada en el segundo piso.” (Anderson, 1972).

“De nuevo el carácter defensivo se relaciona con la posibilidad de proteger los bienes y personas con una estructura que brinda una sensación de seguridad ante ataques y va mejorando con el tiempo evolucionando hacia una planta circular o de concha.” (Anderson, 1972). El castillo, además, presenta otra característica funcional y político territorial. Las personas buscan la protección y, por ende, se desplazan hacia donde dicha condición sea más efectiva. Esto trae consigo una transformación demográfica importante y un razonamiento adicional para la inversión de recursos tanto financieros, como tecnológicos y logísticos, en su desarrollo y edificación. La dinámica tecnológica es importante e interesante para comprender la evolución de castillos, como el de Montilla.

Como se ha señalado anteriormente, se van perfeccionando técnicas debido al interés en la protección, pero, así mismo, funciona como un mecanismo de acumulación demográfica. Gil (2013) indica que: *“El fenómeno del encastillamiento, que además de protección ofrecía un jerárquico sistema organizativo en el marco del señorío cuya función inicial fue la atracción poblacional activo y organizado en familias”* (p. 81). Como se aprecia, la intención de acumular personas tiene un doble efecto beneficioso para el noble que puede construir el castillo defensivo.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

“Es notable que dicha condición influenciaba la construcción en muchos sentidos porque el proceso de ocupación urbana fue el centro temático de la presencia musulmana. Es decir, ocupaban un territorio y de inmediato se desarrollaban ciudadelas alrededor de los castillos musulmanes. Contrario a la idea feudal, el desarrollo de urbes alrededor de las fortificaciones musulmanas en España cambió la óptica de los reinos en proceso de Reconquista. Así mismo, derivaron hacia este tipo de construcción que originaba poblaciones dentro de recintos.” (De Ayala Martínez, 2007).

En cuanto a la evolución particular de los castillos, estos no pierden su carácter militar a pesar de lo señalado en el punto anterior. El poder representado en el señorío feudal se mantiene a lo largo de mucho tiempo y con este la concepción del castillo como representativo de dicho poder.

“Pero de nuevo la tecnología militar se impone sobre los conceptos estéticos y arquitectónicos. En este caso la artillería modifica el aspecto y edificación. Se generan castillos en forma estrellada o de compleja elaboración geométrica. Ahora impera un sentido práctico que define las murallas más como elementos para la disposición de artillería transformándose en baluartes de planta en proa.” (León Muñoz, 2005).

A pesar de no ser fundamentalmente necesarias las torres del homenaje, estas no desaparecen. Se mantienen por razones de declaración política, además de representar el afianzamiento del poder del señor del castillo.

Finalmente, durante la baja Edad Media, tanto en Europa como posteriormente en la España unificada, el castillo representa una nueva modalidad de expresión del poder político. Se convierte en el centro de las ciudades que surgen a su alrededor por la seguridad representada por el poder militar del Rey. El poder va pasando gradualmente de los señores a un rango más centralizado. Las ciudades tienen mucho que ver en este proceso y, junto a ellas, los castillos evolucionan a un concepto más estético y sobre todo funcional. De hecho, la muralla, que antes caracterizaba al castillo propiamente dicho, se extiende hasta defender la ciudad completa, recordando el sentido de pertenencia del periodo imperial romano.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Así mismo, el alejamiento del enemigo a una frontera lejana y, sobre todo, el poder político y militar real de las coronas en los reinos españoles, permiten un tipo de relación feudal que condiciona al nuevo señorío español. “*De hecho, la influencia de la moda andaluza es determinante en el resto de España y en este la influencia musulmana es notable.*” (Anderson 1972). La idea de un castillo pasa de lo defensivo y militar a lo estético y social. Al respecto Chueca (2000) señala: “*Los grandes señores de la nobleza castellana, aragonesa, andaluza, etc., buscaban no solo manifestar su poder y asegurar sus estados con estas fortalezas, sino que querían impresionar por el lujo y la magnificencia*” (p. 443).

Los emplazamientos de los castillos, en principio elegidos por su carácter estratégico y defensivo, otorgaron simbolismo y jerarquía a la nobleza dominante. Por ejemplo, la ubicación de un castillo en un montículo, que antaño ofrecía protección contra el enemigo y control sobre el territorio circundante, ahora favorece el dominio de la población adosada y asentada a su alrededor, como un elemento de control no solo defensivo sino declarativo del poder de sus señores de alta clase dominante. En este contexto, el castillo se convierte en un baluarte político y sobre todo en un elemento que domina el paisaje.

4.4. Los grabados y recursos gráficos históricos del castillo de Montilla

“Era Montilla una villa ... cercada de fuerte muro, con una hermosa fortaleza, la cual estaba aderezada de muchos ornamentos de mármol y era la mejor y más polida de toda el Andalucía” (P. Jovio, 1555)

Montilla, por su situación fronteriza con el reino de Granada, resultaría un puesto estratégico y relevante durante la última campaña militar de la reina Isabel la Católica contra el islam en el territorio peninsular. Sin embargo, el castillo objeto de este estudio no fue utilizado militarmente en la contienda, ni sufrió ningún asedio enemigo ni ataque de ningún tipo, por lo que sería el mejor ejemplo de un castillo de transición entre el edificio de arquitectura puramente militar y defensiva al tipo de construcción señorial y representativa del poder político de la nueva nobleza. Es posible que por este motivo fuera mandado destruir por el rey Fernando el Católico tras la muerte de la reina de Castilla, su mujer, aparte de todas aquellas rencillas que siempre tuvo abiertas con el Gran Capitán.

“La primera noticia conocida del castillo de Montilla hace referencia a un recinto fortificado de poca entidad construido entre 1274 y 1333. Esta edificación se correspondería con el primer señorío de Aguilar, otorgado por Alfonso X a Gonzalo Yáñez do Vinhal. En cambio, en el momento de su destrucción (1508) el castillo ya es una importante fortificación palaciega. Su interior contenía lo necesario para la defensa y el servicio del mismo, casas, aljibes, caballerizas, industrias y almacenes, todo un conjunto de edificios que complementaban a las dos construcciones principales: al alcázar y la casa-palacio.” (Rey García, 2017).

Hoy día, en el lugar donde se ubicaba el castillo del Gran Capitán se levanta un edificio histórico de carácter monumental del siglo XVIII, se trata de un alhorí de tipo agroindustrial, donde en la actualidad su gran espacio interior es aprovechado para exposiciones, convenciones y congresos. Para hallar el viejo recinto del Gran Capitán hay que excavar el subsuelo y reinterpretar sus cimientos. Según Rey García, también en la misma fecha: *“el castillo acaba por desaparecer completamente, con buena parte de su entramado arquitectónico destruido y el resto enmascarado en las nuevas construcciones. La desaparición física fue sustituida en el imaginario colectivo local por un castillo de dimensiones colosales y una opulencia difícilmente igualable”.*

He aquí la cuestión de la profundización histórica de este subcapítulo, la cual consiste en separar el mito y la ficción de lo realmente histórico, de manera que se pueda plantear una hipótesis plausible que se materialice en el metaverso, consiguiendo una imagen que se aproxime con la mayor fidelidad posible a la realidad que en el pasado fue. Para ello, es totalmente relevante la fidedigna confianza en las fuentes históricas reconocidas. Por el

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

momento, se ha estudiado la documentación histórica escrita, sin embargo, en este punto se tratarán las distintas fuentes histórico-gráficas que han sido de utilidad para concebir la imagen virtual de la torre del Homenaje del actualmente derruido castillo de Montilla. Siguiendo la línea de García Rey, la hipótesis resultante se desea fuera de *“la idea de un castillo utópico y ajustarla a límites coincidentes con la realidad que evidencia la arqueología”*.

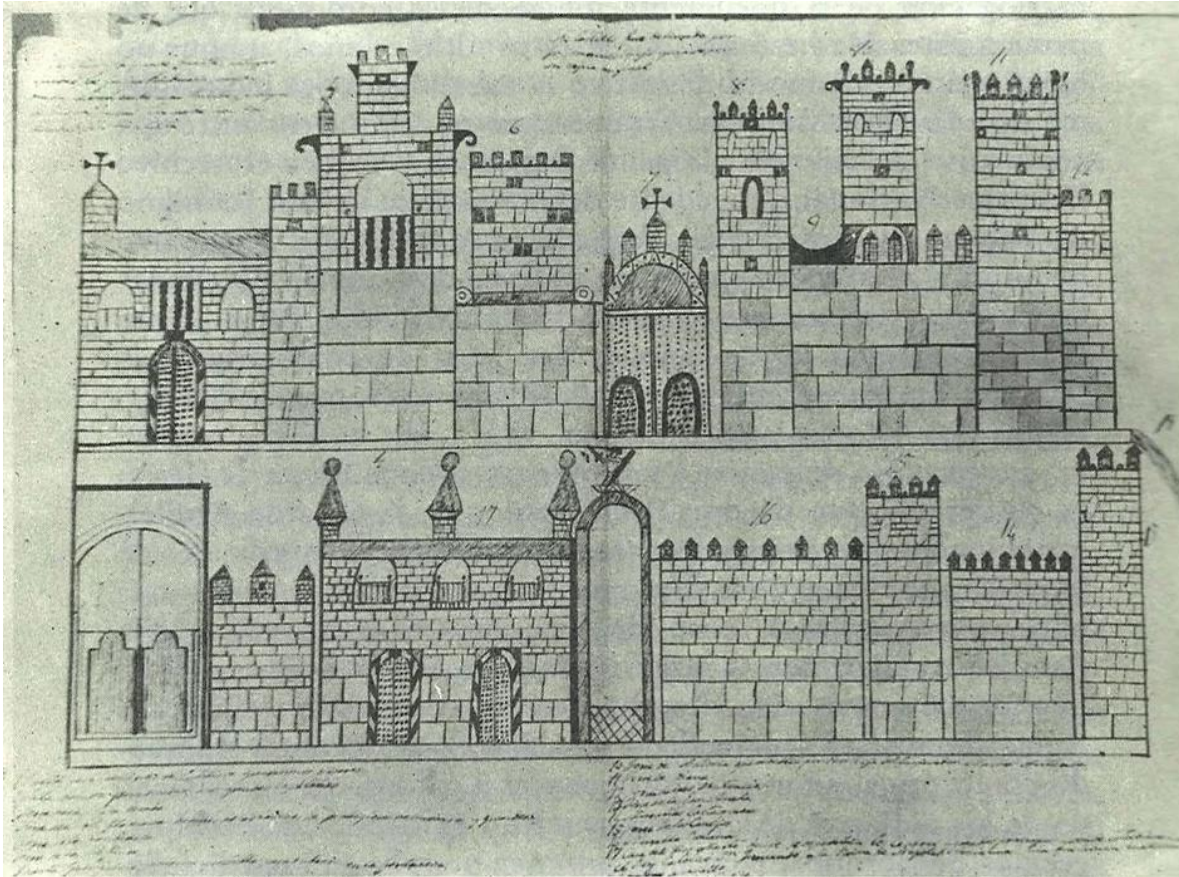
Para ello, es importante comenzar a interpretar cronológicamente las distintas fuentes gráficas que se poseen del castillo del Gran Capitán de Montilla. El primer documento gráfico que se conoce, y por ende el más importante, es la obra de fray Francisco Espejo Figura 79. Aunque es un dibujo realizado en 1639, fray Francisco revela que se trata de una copia de una ilustración de un libro de 1511, que se encontraba en la biblioteca del convento de San Agustín de Montilla. A pesar de tratarse de un dibujo esquemático en un mismo plano de alzado, es decir sin perspectiva, de las torres, murallas y otros edificios del castillo, destaca la importancia en la fecha a la que alude fray Francisco, ya que el arrasamiento de la fortaleza del Gran Capitán fue en 1508. Por lo tanto, tres años después, cuando se realizó el gráfico original, aún se conservaban en pie algunas torres, ya fuera enteras, desmochadas o semiderruidas sobre los lienzos de las murallas.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 79

Grabado del Castillo de Montilla (Fuente: Fray Francisco Espejo, 1639).



Fray Francisco detalla en la segunda imagen elementos del castillo muy necesarios para realizar una interpretación fidedigna del mismo y trasladarla al metaverso, en especial: almenas, saeteras y troneras. Según Rey García (2017), fray Francisco señala con el número 4 a la torre del Homenaje: “La gran torre señalada como 4, denominada “torre del Sol llamada de las Cadenas”, es sin duda la “torre del Homenaje”, que sobresalía de las demás hasta el punto de ser calificada en el grabado original “de prodigiosa hermosura y grandeza”.

La representación de fray Francisco muestra los siguientes detalles en la torre del Homenaje:

- 1º. Las escaraguaitas o garitones flanqueando sus esquinas.
- 2º. Unas molduras que representan los matacanes a su alrededor.
- 3º. Un gran balcón en una de sus plantas.

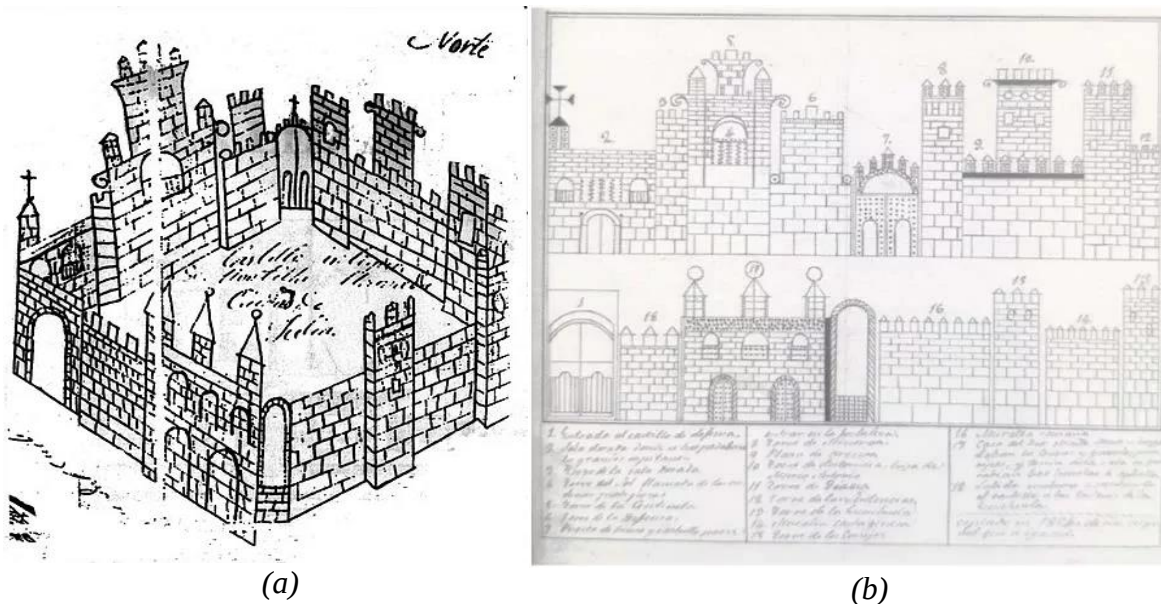
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Posteriormente al dibujo de fray Francisco, se realizaron más copias con distintas interpretaciones, de las cuales la más singular es la que realiza en 1850 Juan Enríquez, transformando la visión en alzado en un mismo plano en una perspectiva isométrica de un recinto cerrado por cuatro planos (Figura 80 y 81).

Figura 80

Copias del dibujo de fray Francisco Espejo: dibujo (a)(Fuente: Juan Enríquez, 1850), y dibujo anónimo de 1854 (b).

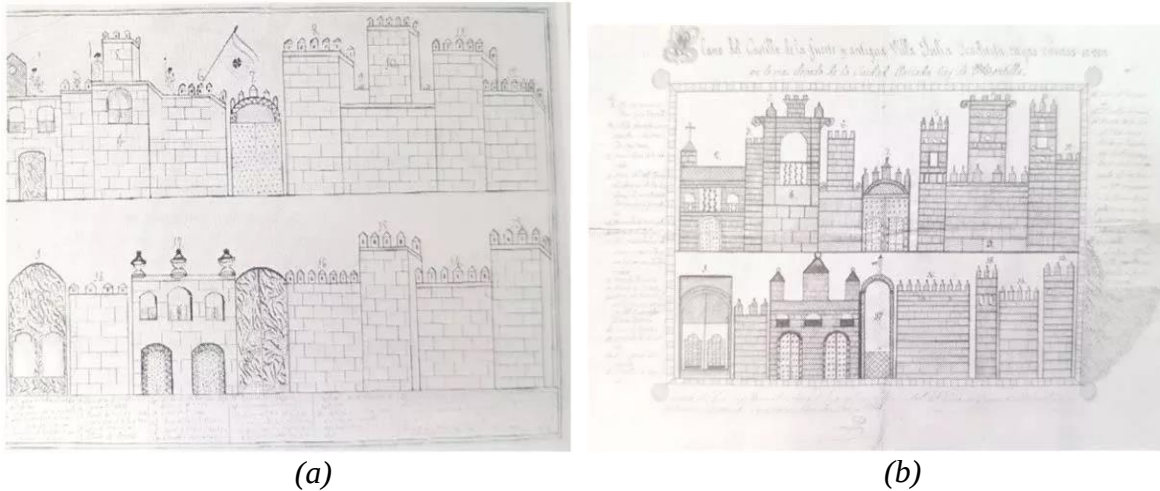


EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 81

Continuación de dibujo anónimo de finales del XVIII sin fecha datada (a y b) (Fuente: anónimo).



A mediados del siglo XVII, el arquitecto florentino Pier María Baldi realizó el grabado de la ciudad de Montilla en ese momento de la Historia (Figura 82). El fin de Baldi consistía en retratar las principales villas que el gran duque de Toscana, Cosme III de Médicis, visitó en España y Portugal durante 1668 y 1669.

Figura 82

Vista de Montilla en acuarela (Fuente: Pier María Baldi, 1669).



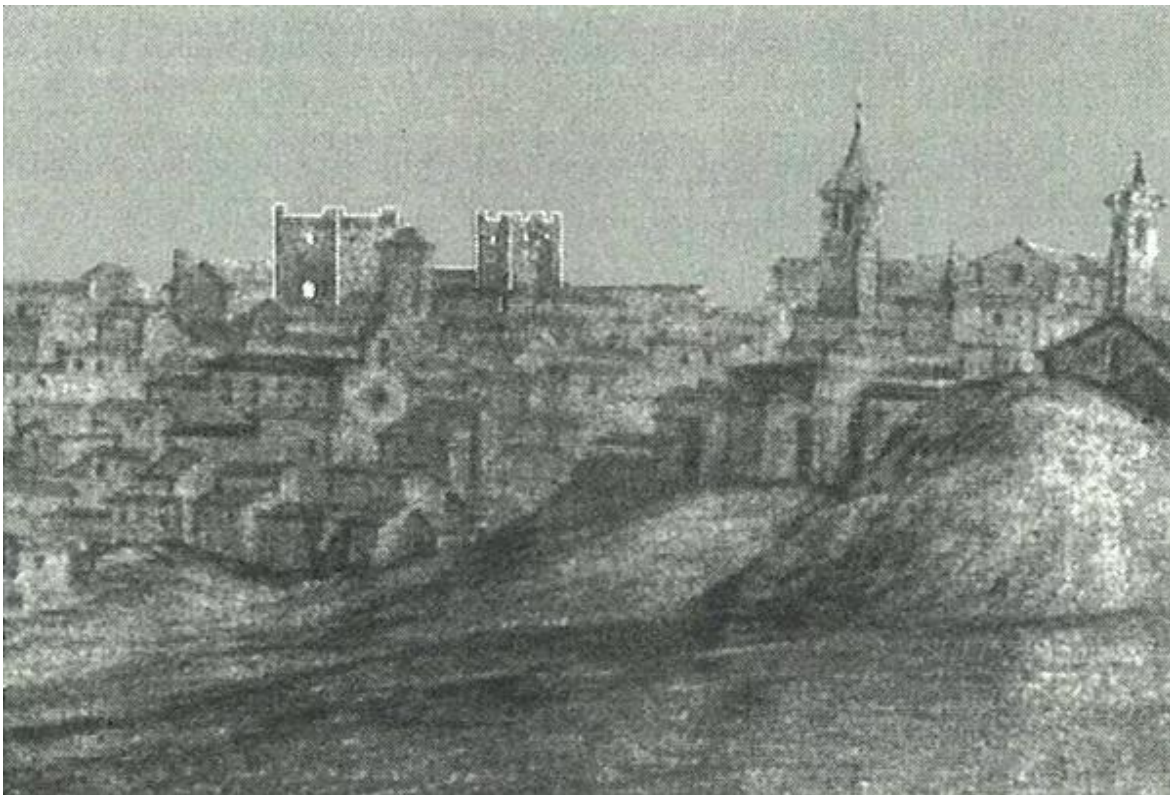
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

En la Figura 83 se amplía el dibujo de Baldi remarcando las torres que debieron pertenecer al castillo del Gran Capitán, y que aún seguirían en pie el año de la visita del séquito de Cosme III. Tres grandes torres del castillo sobresalen por encima de los tejados del caserío de Montilla. Según García Rey (2017): “*En dos de ellas se pueden apreciar los garitones de las esquinas y los matacanes que las rodeaban*”. Estos mismos elementos ya fueron destacados en el dibujo de fray Francisco Espejo, ya analizado anteriormente. En opinión de García Rey, la primera torre de la izquierda debería ser la torre del Sol, es decir, la torre del Homenaje objeto de este estudio de virtualización en el metaverso.

Figura 83

Vista parcial del grabado de Montilla de Pier María Baldi remarcando la silueta del castillo del Gran Capitán (Fuente: García Rey, 2017).



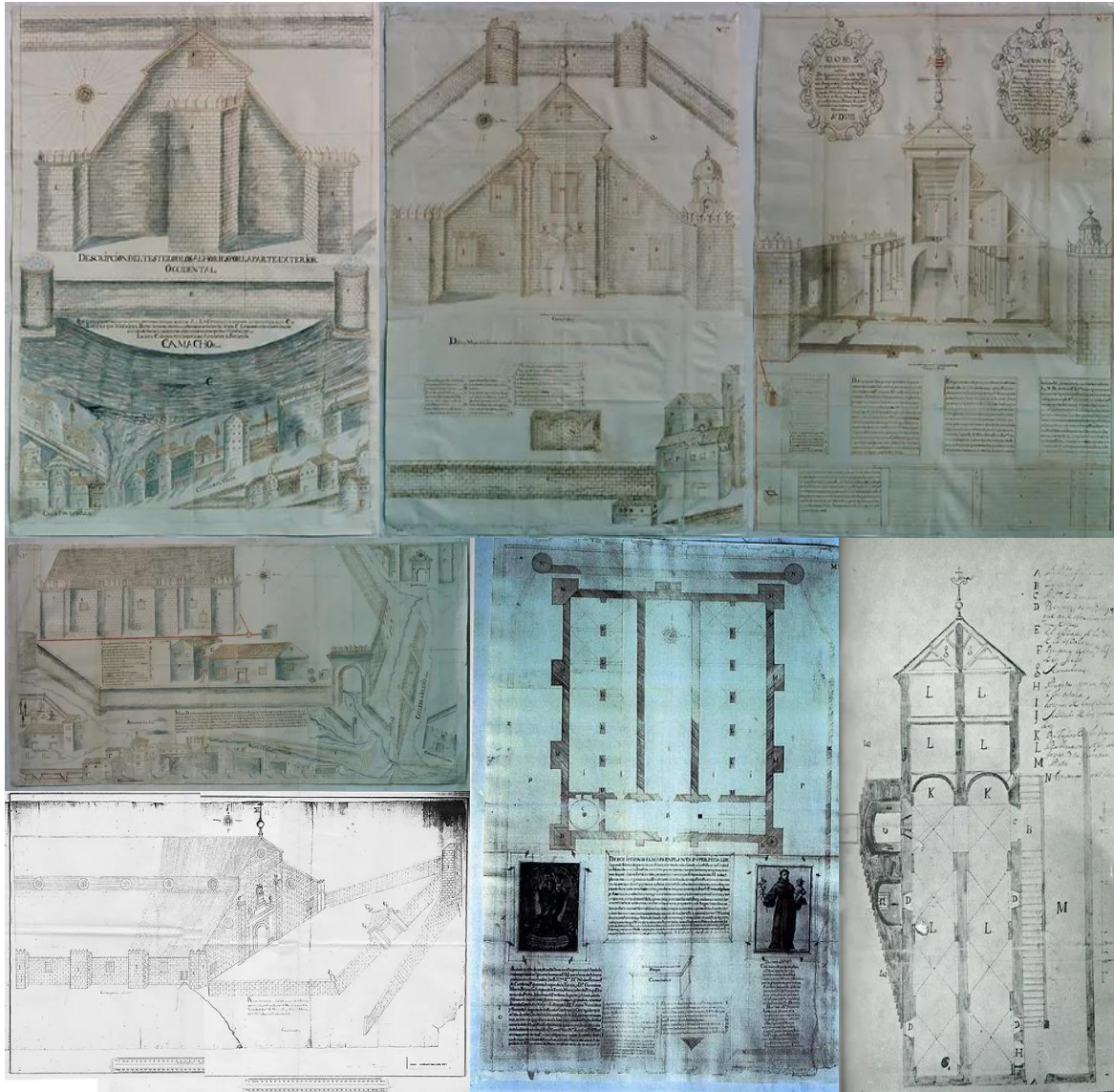
En la Figura 84 se muestran los planos del actual alhorí que se levantó sobre las ruinas del antiguo castillo del Gran Capitán. Su autor fue el arquitecto cordobés Juan Antonio Camacho, quien recibió el encargo del duque de Medinaceli.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 84

Planos del proyecto del arquitecto J. A. Camacho para construcción del Alhorí a inicios del siglo XVIII (Fuente: J.A. Camacho).



En cierta manera, Camacho siente que su proyecto es heredero del pasado, puesto que incorpora elementos en el mismo que previamente se han estudiado desde sus ruinas y cimientos.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

“Es más que probable que un cierto afán conservacionista le llevara a emular en su edificación la morfología de un castillo, convirtiendo los contrafuertes en torres almenadas, a situar las torres del alhorí en coincidencia con las del alcázar, a construir una torre caballera sobre uno de los contrafuertes, a conservar parte de la casa palacio, a informar sobre las estructuras que desaparecían de su obra dibujando, incluso, algunas de ellas, a respetar el perímetro del recinto fortificado y a diseñar la portada de acceso del alhorí guardando cierta semejanza con la entrada del alcázar reflejada en el dibujo de 1630” (Rey García, 2017).

Por tanto, el proyecto de Camacho es más que un documento cuyo fin pretenda solamente la ejecución de un edificio. Se trata en realidad de una fuente fidedigna y esencial de información para cualquier estudio arqueológico e histórico del antiguo castillo del Gran Capitán. En la parte que compete a esta investigación respecto a la torre del Homenaje, Camacho identifica en los planos dos mazmorras que las designa con F y G, de las cuales la última correspondería con la torre del Homenaje, según opinión del propio Rey García. Además, Camacho, en sus propios pies de planos, cuantifica y delimita todas las torres del viejo castillo, siendo un total de nueve que rodeaban el alcázar, cuyo emplazamiento se hace coincidir con los contrafuertes del alhorí.

Entre 1778 y 1795, Bernardo Espinalt y García Escribió un celeberrimo *“Atlante español ó Descripción general Geográfica, Cronológica, é Histórica de España, por Reynos, y Provincias: De sus ciudades, Villas, y Lugares más famosos: de su Población, Rios, Montes, &c. Adornado de estampas finas”*, en el cual se muestra una ilustración de la ciudad de Montilla. En ella, como se muestra en la Figura 85, se dibuja un castillo marcado con el número 5 y denominado *“Castillo de su Excelencia”*. Sin embargo, la ubicación y la fecha no se corresponden con esta recreación virtual en dos dimensiones, pues se critica a este autor porque sus vistas no son parecidas a la realidad por no terminar dichos bocetos in situ. De hecho, por estos motivos singulares fue criticado por Azorín.

“Aquí, Azorín encuentra asiento a su pensamiento sobre la geografía. España: un país donde nadie sabe geografía. Y nos pasa a explicar que allá en 1778, en época de Bejarano un hombre quiso hacer un Atlante español o descripción geográfica, cronológica e histórica de España. Y como muchas veces ocurre en España pretendía hacer con el mínimo esfuerzo, mandando un cuestionario a las autoridades de cada comarca y villa con el fin de que hicieran la labor por ellos. Y hubo quejas y negativas porque para conocer España hay que recorrerla, hay que andarla.” (Rocío Quintanilla, 2012).

No obstante, el grabado muestra una recreación bidimensional de un castillo insertado en un caserío como el de Montilla, cuyos tejados se elevan unos sobre otros destacándose algunos edificios singulares en su leyenda aclaratoria.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 85

Vista oriental de Montilla (Fuente: Bernardo Espinalt García, 1778-1795).



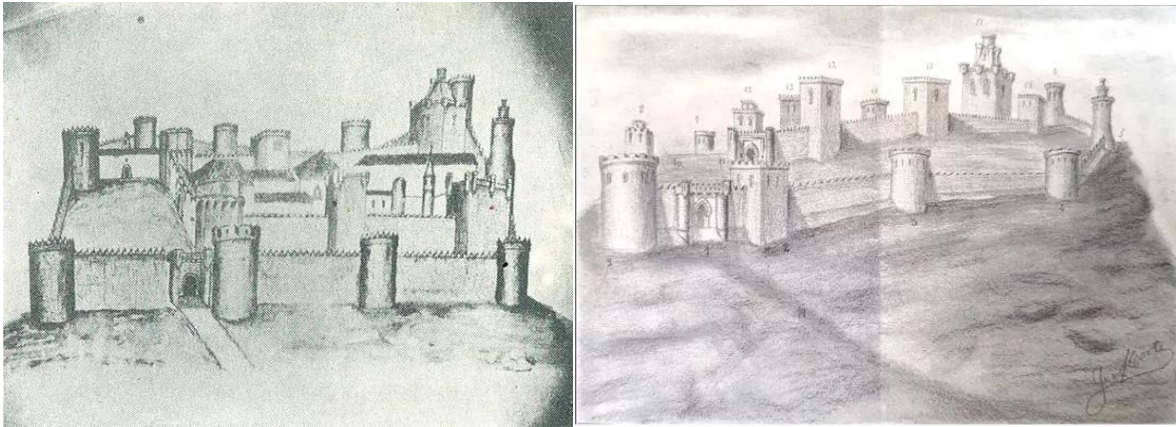
En el año 1888, finales del XIX, el cronista José Morte Molina publica sus *Apuntes históricos de Montilla*, donde copia fielmente descripciones de otras cronistas como Dámaso Delgado. Sin embargo, Morte se atreve a realizar dos interpretaciones gráficas del castillo del Gran Capitán, aunque, según apunta Rey García en su obra, se basa principalmente de las descripciones escritas de Delgado sin tener en cuenta los dibujos de fray Francisco Espina salvo en el nombre de las torres. No obstante, constituyen también una fuente interesante de inspiración para virtualizar el modelo 3D objeto de esta tesis doctoral. Estos dibujos se pueden apreciar en la Figura 86.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 86

Dibujo del historiador (Fuente: José Morte Molina 1888).



Por último, destaca el cuadro del artista montillano Lorenzo Marqués (Figura 87), realizado en 1990, donde se muestra una imagen muy poderosa del caserío sobre una colina que corona a la izquierda el patrimonio eclesiástico con una senda torre campanario y a la derecha, frente a la misma, el actual alhorí que se levanta sobre el punto donde se encontró el castillo del Gran Capitán. En cierto modo, esta pintura evoca al poderío que dicha fortaleza proyectaría sobre su entorno inmediato.

Figura 87

Montilla desde Espejo, técnica de plumilla (Fuente: Lorenzo Marqués 1990).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

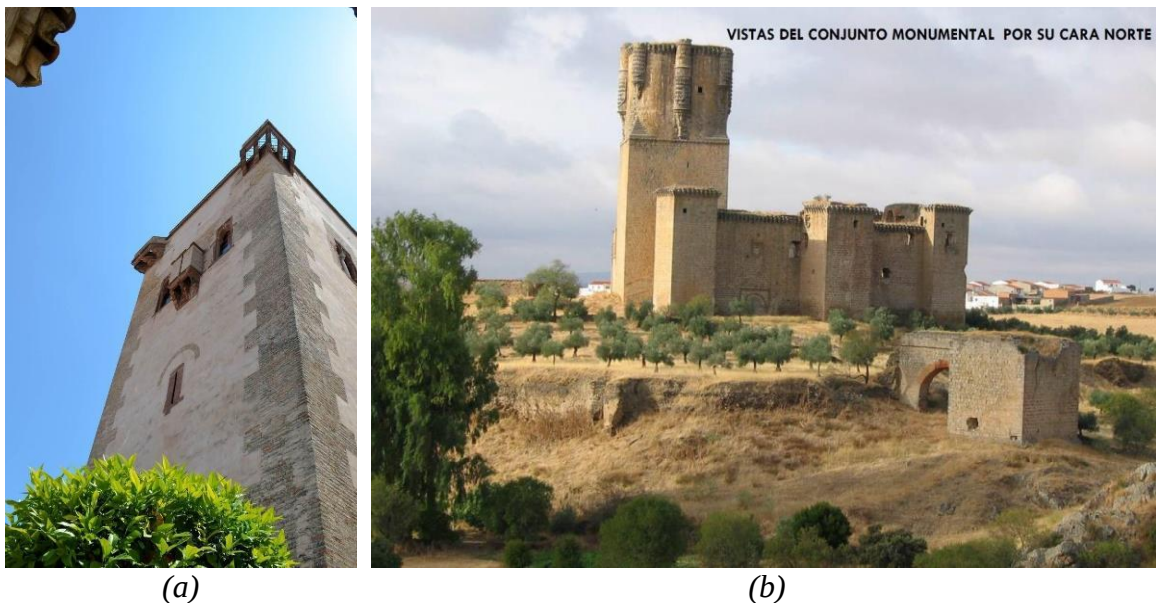
4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4.5. Búsqueda de paralelos arqueológicos.

Toda la información acumulada nos sitúa en un punto avanzado de nuestro modelo a virtualizar. Pero la reconstrucción del modelo tridimensional de la torre del Homenaje del castillo de Montilla en el metaverso requiere un aspecto final de todos los elementos que la conforman. Para alcanzar un modelo lo más fidedigno posible se han estudiado las diferentes tipologías de castillos ubicados en las cercanías Montilla, con características similares y que se encuentren en un buen estado de conservación. Tras un estudio exhaustivo de los diferentes castillos medievales existentes en la demarcación territorial señalada, se estima que los óptimos para este nivel de interpretación son las que se muestran en la Figura 88.

Figura 88

La torre Garci Méndez (a) y castillo de Belalcázar (b) (Fuente: elaboración propia).



El hecho de que estos elementos sean comunes en este tipo de fortalezas históricas permite buscar referencias de las existentes en otras torres o castillos, aún en pie o que se conserven en un estado no ruinoso. En efecto, el último nivel de concreción sería el detalle minúsculo y preciso de estos elementos que los documentos escritos y gráficos no permiten alcanzar, siendo éstos, en buena medida, necesarios para otorgarle credibilidad a la experiencia dentro del metaverso. En este punto se debe centrar la interpretación.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Como comenta Maura: la reconstrucción es un instrumento de trabajo. Al repensar la realidad observada a través de un modelo interpretativo no se puede omitir ninguno de los datos recabados, al contrario, todo debe contribuir a dar fundamento y coherencia a la hipótesis reconstructiva. Ésta es al mismo tiempo un fin y un medio de investigación porque el procedimiento hipotético que conduce a la reconstrucción actúa durante todo el proceso cognitivo. Reconstruir es equivalente a encontrar una respuesta plausible y argumentable a todas las preguntas que uno se ha hecho (Medri, 2003).

Tal es así que esta coyuntura sitúa al investigado en un cruce de caminos en el que debe escoger y separar lo accesorio de lo principal. El propio hecho de elegir una solución constructiva o material determinado condiciona notablemente el resultado.

En la elección de dos ejemplos reales, para reinterpretar la textura y el detalle arquitectónico de la torre del Homenaje de Montilla, se han tenido en cuenta los siguientes criterios: proximidad temporal en su construcción y proximidad geográfica, prevaleciendo en ello, las fortalezas históricas que se encuentren en la misma provincia, es decir, Córdoba.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

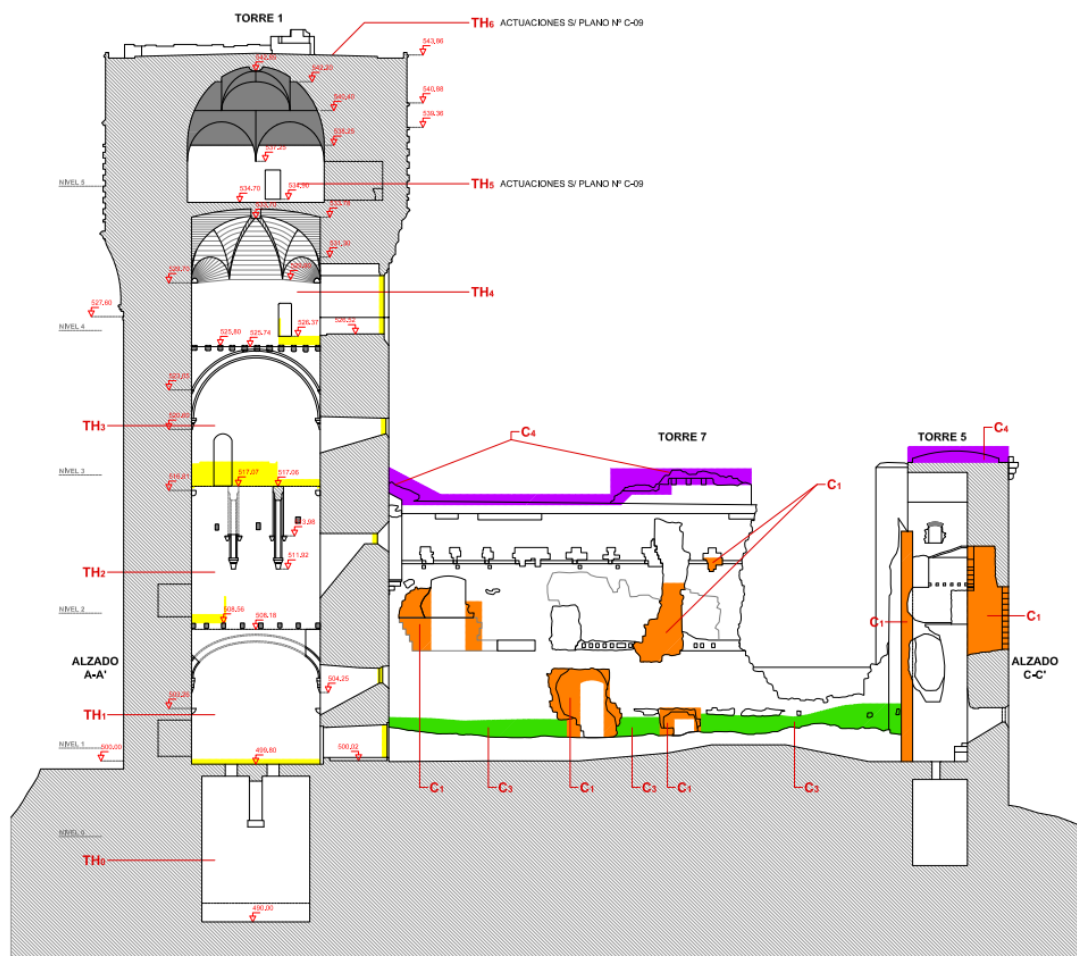
4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4.5.1. La torre de Belalcázar.

En primer lugar, el paralelo que seleccionamos es la torre de Belalcázar (Figura 89), que pertenece al castillo de los Sotomayor y Zúñiga, también llamado castillo de Gahete o de Gafiq, que se encuentra ubicado en un paraje de serranía al norte de la localidad a la que da nombre (de “bello alcázar”). Esta fortaleza pertenece a una arquitectura defensiva medieval de estilo gótico-plateresco del siglo XV. La torre que más sobresale, con 47 metros de altura, se identifica con la torre del Homenaje de corte renacentista, que es precisamente la que se toma de referencia. Además, se trata de la torre defensiva más alta de toda la península Ibérica.

Figura 89

Sección constructiva del Proyecto de Ejecución de Consolidación y puesta en valor del recinto amurallado y castillo de Belalcázar (Fuente: Peña Amaro, 2012).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

La fortaleza de Belalcázar perteneció a los condes de Belalcázar, que establecieron su residencia en ese lugar, al igual que el castillo del Gran Capitán en la ciudad de Montilla. Este hecho era muestra de la relevancia que estos nobles tuvieron como mecenas de la arquitectura y del poder señorial en toda la comarca. La fortaleza actual fue ejecutada en 1450, momento en el que el rey Juan II otorga estas tierras a Gutiérrez de Sotomayor, maestro de la orden de Alcántara, con permiso para construirlo. Es probable que en la ubicación del castillo de Belalcázar ya existiese una construcción romana y, posteriormente, musulmana. El castillo se ejecuta con buena cantería de granito y tiene una planta cuadrangular, en cuyo perímetro se alzan altos y robustos muros jalonados por ocho torres prismáticas, geométricamente dispuestos respecto al centro en cada uno de los flancos y las esquinas (Valverde Candil & Toledo Ortiz, 1985). Los lienzos de murallas y las torres se coronan con una sobrecargada línea de modillones (Figura 90), que es característica del plateresco. Adosado a la fortaleza, se construyó un palacio renacentista en 1539 bajo la dirección del arquitecto Hernán Ruiz I, por lo que dicho palacio se impregna de una fuerte influencia de carácter humanista.

“El diseño general del castillo responde, con ciertas peculiaridades, al esquema habitual de las fortificaciones señoriales bajomedievales: un edificio cerrado, de aspecto consistente, planta cuadrangular y flanqueado por torres en lienzos y esquinas, que encierra intramuros un patio central abierto, donde se distribuirían las estancias de carácter residencial y en cuyo centro se localiza la boca de un aljibe o pozo, en la actualidad totalmente colmatado.” (León Muñoz, 2001).

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 90

Colosal torre del Homenaje del castillo de Belalcázar (Fuente: elaboración propia).



No obstante, a pesar de la gran arquitectura de todo el conjunto defensivo y palaciego, el mayor y más impactante efecto a la persona que lo divisa a sus pies o en el horizonte es debido a su colosal torre del Homenaje, la cual se halla adosada a su muro. Sobre una base prismática en aproximadamente sus dos primeros tercios, se corona con una disposición cilíndrica debido al redondeamiento de sus cuatro esquinas, amortiguándose la diferencia mediante unos elementos escalonados piramidales.

“En el centro del costado oriental, en el sector orientado a la población actual, se localiza la torre del homenaje, de planta cuadrada (ligeramente irregular), con una descomunal altura, de 47m, auténtico “imán visual”, foco de todas las miradas por su monumentalidad y por la calidad estética de su remate superior.” (León Muñoz, 2001).

Los elementos más característicos de este cuerpo alto que se muestra en la Figura 91 son las garitas cilíndricas, que se alternan largas y cortas, y se adosan a los flancos y a las esquinas. En sus frentes, se ubican unos gigantescos escudos de los Sotomayor con bandas traqueadas, contribuyendo así al sobrecargado ornato de la torre.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 91

Visita de estudio. Estado de deterioro y ruina del castillo de Belalcázar (Fuente: elaboración propia).



Actualmente, el castillo se encuentra en estado ruinoso y está siendo objeto de rehabilitación. El castillo se abandonó a su suerte y declive tras su ocupación por las tropas francesas en la Guerra de la Independencia, quienes lo convirtieron en almacén de artillería, motivo por el que sufrió daños considerables.

El inmueble fue adquirido por la Junta de Andalucía el año 2008 y desde este momento la consejería competente ha realizado diversos estudios: de materiales, topografía, fotogrametría, planimetría y fotografía. Así mismo, se han ejecutado trabajos de desescombro, limpieza y desbroce, consolidaciones puntuales y algún apuntalamiento urgente, ejecutándose entre los años 2018 y 2019 una gran y necesaria intervención de consolidación y puesta en valor. Para la realización de este trabajo de investigación, se realiza una visita Figura 92 junto con Alejandro Ibáñez Arqueólogo Provincial dedicado a la protección, conservación y difusión del Patrimonio Arqueológico de Córdoba y provincia, José Rey García, cronista oficial de Montilla y Rafael Enrique Hidalgo uno de los directores del presente trabajo. Durante la misma, se permitió subir a inspeccionar la torre del Homenaje, tomando las medidas de seguridad necesarias, y se fotografió los elementos más relevantes para el objeto de esta tesis doctoral. La visita ha sido incluida en el documento de Actividades del Doctorando.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

En esa visita se ha comprobado la disposición de los sillares de la fábrica de los lienzos del castillo y de la misma torre del Homenaje, que se pueden observar en las Figuras 93 y 94. Así mismo, esta piel y textura que conforman la fábrica del castillo de Belalcázar es la que se ha tomado como referencia para la torre objeto de virtualización en esta tesis doctoral, extrapolando el sistema constructivo utilizado en el castillo visitado al desaparecido en Montilla.

Figura 92

*Fotografía de la reunión previa a la visita del enclave arqueológico con los responsables
(Fuente: elaboración propia).*



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 93

Fotografía del lienzo de muralla del castillo de Belalcázar (Fuente: elaboración propia).



Figura 94

Fotografía en el arranque de acceso a la torre del Homenaje del castillo de Belalcázar (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Otro elemento constructivo, que se toma como referencia en la virtualización del castillo del Gran Capitán, es la arquería, la cual, aunque le faltaban elementos de entrevigado, se ha podido detallar minuciosamente in situ, encontrándose contrapeada. Así, esta tipología de arquería es la que se ha tomado como referencia para ejecutar los diferentes pisos o plantas interiores. Del mismo modo se ha tomado la cúpula de ladrillo que remata el espacio vertical. Todos los elementos comentados se muestran en la Figura 95.

Figura 95

Fotografía interior de las arquerías y cúpula del castillo de Belalcázar (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Por último, se toma como guía el peldañado de la escalera de caracol como sistema de comunicación vertical que da acceso a la cubierta, así como el cilindro y cúpula que forman el castillete de piedra que culmina en la azotea plana transitable. Este elemento se puede apreciar en la Figura 96.

Figura 96

*Fotografía del peldañado interior de la escalera de caracol del castillo de Belalcázar
(Fuente: elaboración propia).*



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4.5.2. La torre Garcí de El Carpio.

En segundo lugar, se elige la torre Garcí Méndez de El Carpio (Figura 97) a través de un análisis similar a la ya tratada torre de Belalcázar. Aunque la torre carpeña no es tan eminente como la analizada anteriormente, la Garcí Méndez es el emblema de esta localidad, y cuyo centro poblacional se levanta sobre el caserío asentado en un cerro.

En la actualidad solamente se encuentra en El Carpio esta torre, pero, al igual que el castillo de Montilla y el de Belalcázar, dicha torre formó parte del castillo de los Méndez de Sotomayor. Se encuentra integrada en el entramado urbano carpeño, en concreto, en la manzana en la que se ubica la torre y en el contiguo Teatro Municipal. No obstante, una diferencia notable con la anterior es su estilo mudéjar. Se cree que la Garcí Méndez fue la primera pieza del castillo en edificarse. Se ejecutó con argamasa y ladrillo, con forma prismática rectangular (Cabrera Sánchez, M. 1999). Sus macizos muros son perforados por vanos rematados con arcos de herradura, sencillos o dobles, sin embargo, actualmente se encuentran cegados.

Figura 97

Diferentes vistas de la torre Garcí Méndez de El Carpio (Fuente: elaboración propia).



Para Margarita Cabrera, al igual que ocurrió con la figura del Gran Capitán en el fin de la Reconquista, “*la figura de Garcí Méndez responde muy bien al arquetipo de noble andaluz que consagra su vida a la defensa de la Frontera*” (1999). Así, bajo la corona de Castilla en la persona de Juan II, “*participó activamente en las campañas contra los musulmanes*”.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

La torre fue construida en 1325 con fines bélicos. Su diseño es del maestro alarife Mahomad y por el obrero Ruy Gil, según consta de la inscripción con letras mayúsculas góticas algo toscas que Torres Balbás hace alusión (Torres Balbás, 1952): *“Por raro caso, esta fortaleza tiene partida de bautismo bien clara, en la que consta quién la mandó hacer, el maestro y el administrador o encargado de la obra y el año en que se levantó. La lápida de alabastro en la que figuran estos datos estuvo empotrada en los muros de la torre, y hoy se guarda en el palacio de las Dueñas, de Sevilla, mansión del Duque de Alba, Marqués del Carpio y dueño de la fortaleza”*.

La torre, cuya planimetría se muestra en la Figura 98 consta de tres cámaras interiores superpuestas, cuyos elementos mejoran de cámara a cámara en sentido ascendente. Alrededor de ellas, se ejecuta una rampa de subida similar a la de la Giralda de Sevilla. Las dimensiones del volumen de la torre son: un perímetro de 16,60 x 11,25 metros y una altura de 24,75 metros. Por otro lado, el grosor de sus muros exteriores es bastante contundente: 2,60 metros, lo que reduce con creces el espacio interior, teniendo en cuenta las dimensiones ya citadas.

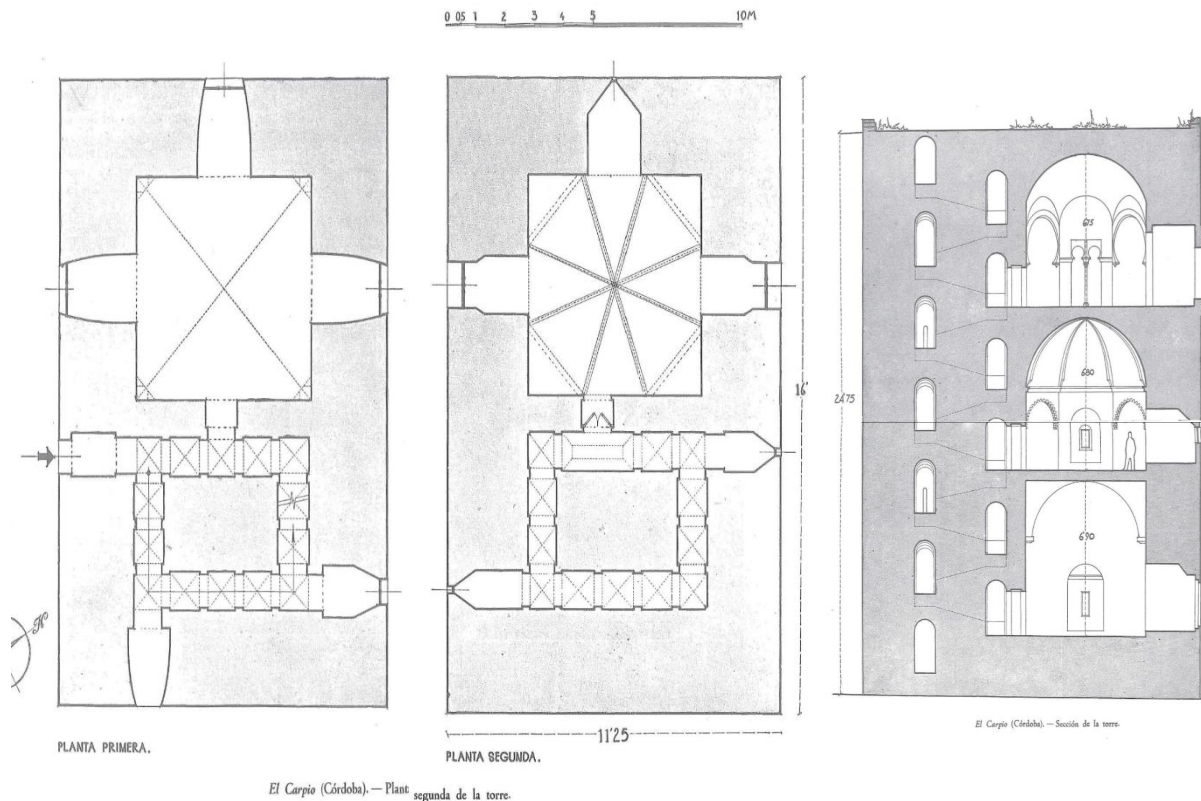
“La escalera, de un metro de ancho, se desarrolla en cómoda rampa peldañeada en torno de un núcleo rectangular macizo, de 3,80 por 2,50 metros. Divídese en tramos cuadrados por pilastras ligeramente resaltadas de los paramentos, cubiertos por bóvedas de arista; hay alguna esquifada, de espejo, en el desembarco de la escalera, en los distintos pisos de la torre.” (Torres Balbás, 1952).

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 98

Planimetría de la torre Garcí Méndez de El Carpio: planta primera (a), planta segunda (b) y sección constructiva (c) (Fuente: Torres Balbás, 1952).



(a)

(b)

(c)

Hoy día, a diferencia del deterioro de la anterior torre de Belalcázar, la torre de El Carpio presenta un buen estado de conservación, consecuencia de un gran y reciente trabajo de restauración. La torre muestra muy restaurados los elementos defensivos que interesan a esta investigación, en especial: las ventanas simples o en ajimez, que tienen una columna en la mitad del vano; los cuatro torreones de piedra molinaza y matacanes, que son esos balconillos pensados para arrojar proyectiles y material ardiendo a quien hostigara frente a los muros de la torre. A este enclave se han hecho varias visitas. Las primeras visitas fueron en 2018, que consistieron en visitas guiadas al interior de la torre y dirigidas por el responsable de la concejalía de Cultura del Ayuntamiento. Se intentó realizar una visita posterior, entre 2020 y 2021, con objeto de buscar más planimetría, pero por motivos de la pandemia, no fue posible.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Además de tomar como referencia el sistema constructivo de los muros, el cual presenta similitudes con el de Belalcázar, se han elegido las troneras y saeteras de la torre Garcí Méndez para abrir perforaciones similares en los muros de la torre del Gran Capitán. La diferencia radica en que en las troneras se disparaban armas de fuego, y en las saeteras se situaban los arqueros para disparar protegidos saetas o flechas. En la Figura 99, se muestran fotografías interiores de saeteras de la torre de El Carpio.

Figura 99

Fotografía interior de las saeteras de la torre Garcí Méndez (Fuente: elaboración propia).



Por último, se toma el sistema de elevación vertical en rampa diseñado por el maestro alarife Mohamed en la torre de El Carpio (Torres Balbás, 1952), ya que las dimensiones de esta son más parecidas a la de la torre del Homenaje del castillo de Montilla, según las comparaciones con el informe arqueológico de Raimundo Ortiz. Se cree que este sistema de construcción en rampa o peldaño compensado es el más idóneo para subir el material piromorfo (Ortiz Urbano, 2018). Para la ejecución virtual de este sistema de comunicación, y al mismo tiempo estructural, se tomaron medidas in situ y se discretizó en pequeños elementos que permitiesen diseñar un módulo que pudiera repetirse a medida que se ascendiera por la torre. El módulo sintetizado incluye el ancho de la rampa, dos peldaños, arcos de medio punto que sostienen el peso de la torre y lo transmiten a muros laterales, y la

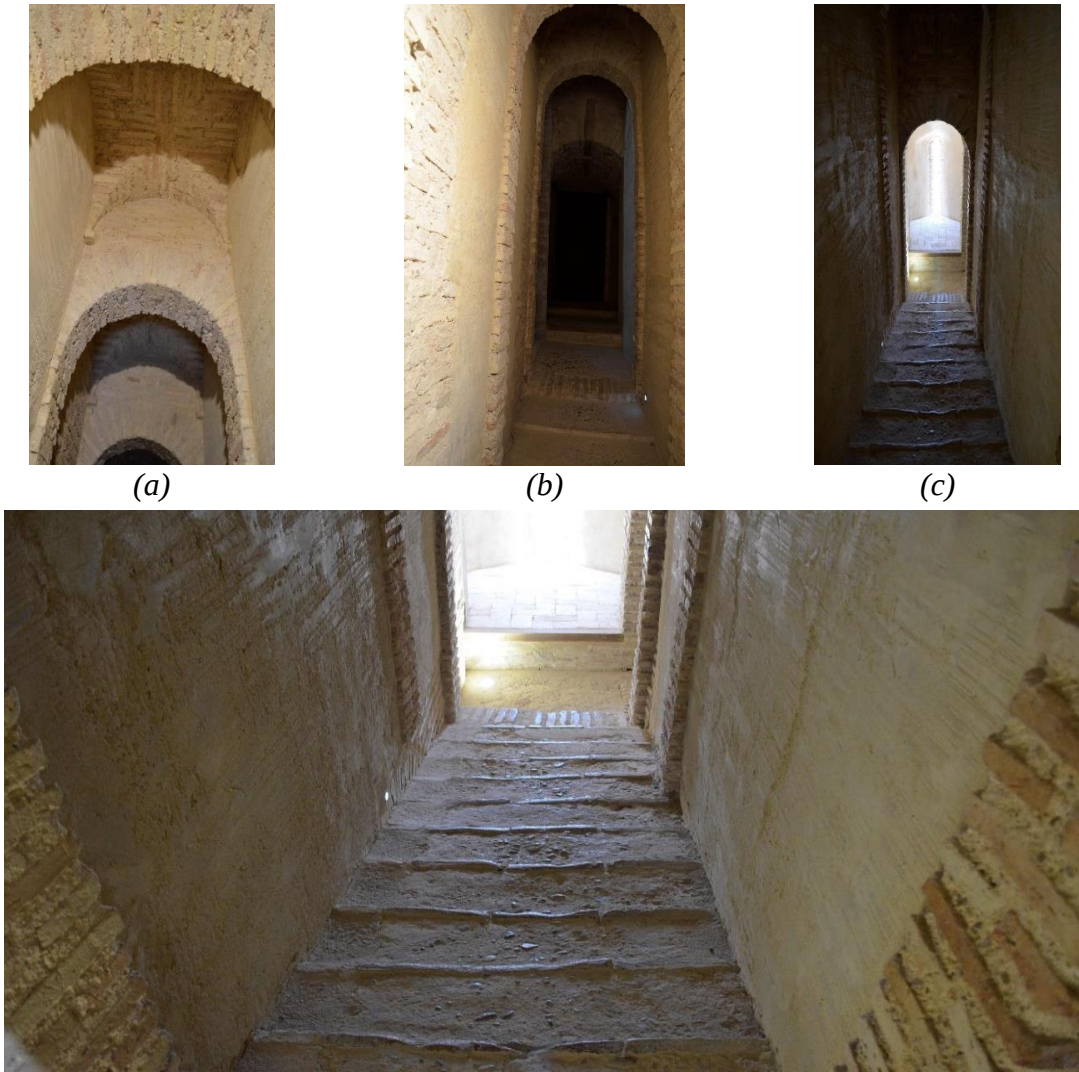
EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

bóveda que por un lado cubre la superficie correspondiente a dos peldaños y, por otro lado, sirve de base para la rampa superior. En la siguiente Figura 100, se muestran fotografías de la rampa, en las que se intenta acotar el espacio que dará lugar al módulo de dicha rampa.

Figura 100

Fotografías interiores de la rampa de la torre Garcí Méndez a, b, c y d (Fuente: elaboración propia).



4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4.6. Resultados

A continuación, se exponen los resultados alcanzados y se detallan las experiencias inmersivas (metaversos) producidas mediante el desarrollo de una metodología propia de enseñanza-aprendizaje que integra el metaverso en el campo de la docencia. Estas prácticas favorecen el desarrollo de actividades competenciales en Dibujo Técnico, y aplicado a la expresión gráfica del patrimonio cultural potencian la comprensión del bien patrimonial.

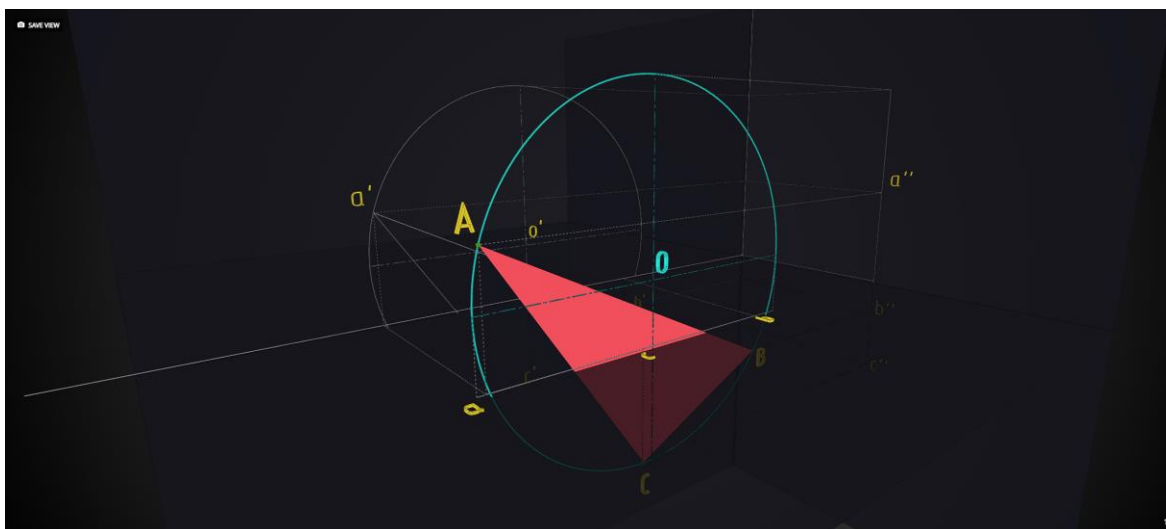
Se muestran los diferentes resultados obtenidos de menor a mayor complejidad, al objeto de mantener una línea expositiva clara. Así el lector puede hacerse una idea de la progresión alcanzada durante todos estos años de investigación.

4.6.1. Los ejercicios de geometría descriptiva

El primer resultado del estudio nace de los ejercicios simples (Figura 101) de Geometría Descriptiva. El trabajo que subyace tras este ejemplo consiste en la elaboración de un catálogo de ejercicios que sirven de complemento a la práctica docente. En la Figura 102 se muestra uno de mayor complejidad. Todos se encuentran en el citado catálogo (Figura 103) actualizado a medida que se van virtualizando nuevos ejercicios de las diferentes asignaturas (3d Models by Dibujo Etsiam(@dibujo_etsiam_1), s. f.).

Figura 101

*Vista de ejercicio sencillo de la asignatura de Geometría Descriptiva (EJERCICIO 001 - 3D Modelado por Alejandro Mohedo, 2019) (Fuente: elaboración propia).
<https://skfb.ly/6XuSV>*



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 102

*Vista de ejercicio complejo de la asignatura de Geometría Descriptiva (EJERCICIO_09 - 3D Modelado por Alejandro Mohedo, 2021) (Fuente: elaboración propia).
<https://skfb.ly/opLPK>*

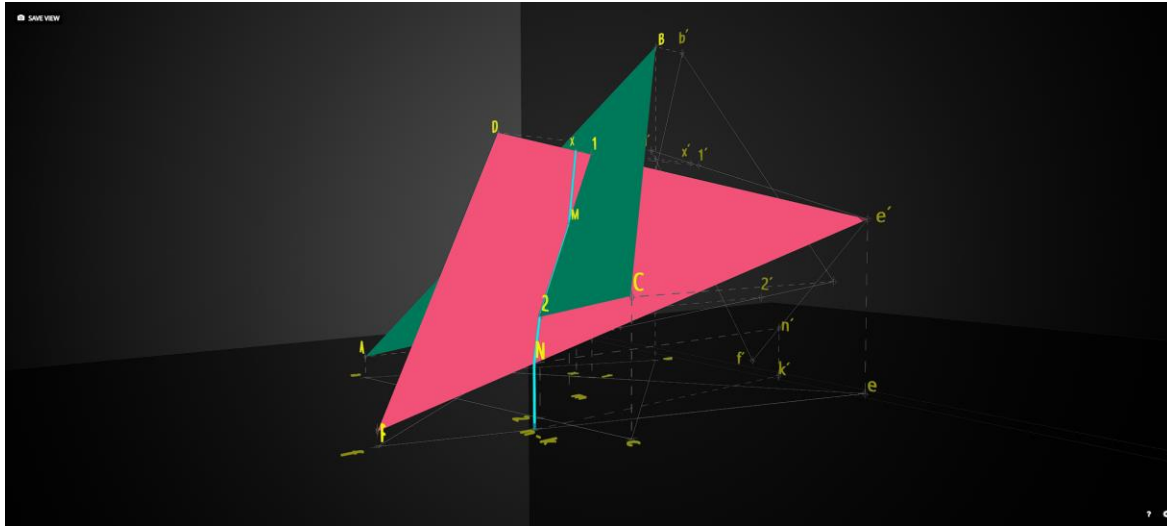
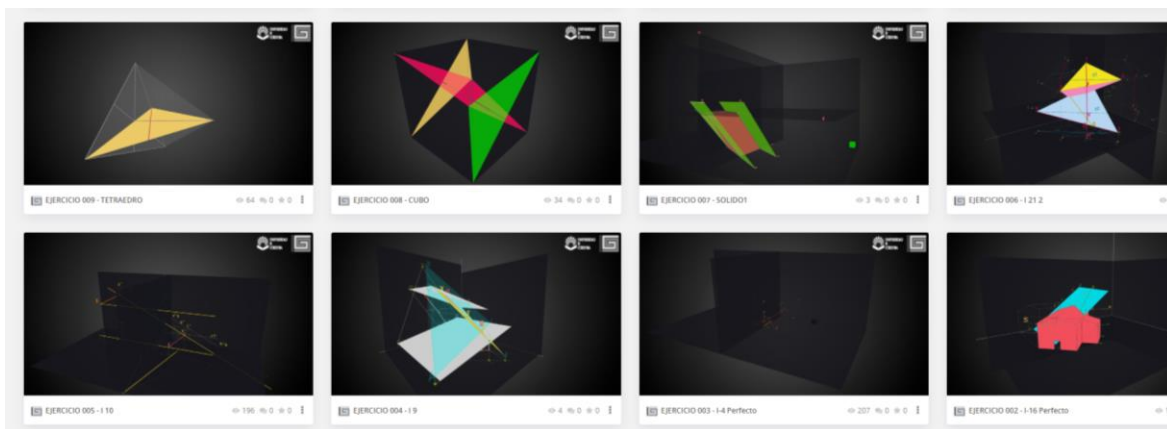


Figura 103

*Catálogo de usuario en Skechfab (@dibujo_etsiam_1) (Fuente: elaboración propia).
https://sketchfab.com/DIBUJO_ETSIAM_1/models*



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

La práctica se realiza con alumnado en el espacio etéreo o metaverso, donde cada uno de los usuarios visualiza en tres dimensiones el desarrollo de un ejercicio de representación en sistema diédrico que, previamente, se ha intentado comprender en dos dimensiones sobre el papel. En el capítulo 3 se ha evaluado la experiencia de visualización de los ejercicios, y los resultados del curso 2019_2020 han sido objeto de publicación en la revista científica comentada.

Hubiera sido interesante realizar esta experiencia inmersiva con el resto de escenarios virtuales restantes, sin embargo, los plazos de gestión de esta tesis doctoral y el propio devenir del curso escolar no ha permitido combinar más prácticas similares. No obstante, las experiencias realizadas se podrían calificar como exitosas, sensación que se aprecia mientras la misma se realiza con cada sujeto.

Por otro lado, esta investigación tiene la dificultad añadida de presentarse en papel, como cualquier tesis doctoral, es decir, los resultados y las experiencias sensoriales en tres dimensiones se tienen que plasmar forzosamente en dos dimensiones. Esto justifica la posible ambigüedad al observar las distintas imágenes, pudiendo confundir una fotografía real con un pantallazo de un modelo virtualizado. Al mismo tiempo, quien las contemple, puede caer en el error de que lo ejecutado es un simple render estático o imagen 3D con texturas o, incluso, imaginarse que el metaverso es como un videojuego. Es por ello, que en la defensa de esta tesis doctoral estarán a disposición del tribunal, y de cualquier asistente que así lo desee, el material tecnológico de laboratorio (las gafas RV) preparado para que puedan sentir la experiencia inmersiva en el metaverso elaborado para esta cuestión.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4.6.2. Los elementos virtualizados mediante fotogrametría

El segundo resultado del estudio se centra en la obtención de diferentes modelos tridimensionales para comprender el conjunto monumental objeto de estudio. En esta línea, se ha procedido a documentar virtualmente elementos de distinta escala o tamaño. Es precisamente esta diferencia, lo que se deduce con los resultados obtenidos, la validez del procedimiento escalable. En la Figura 104 y Figura 105 se muestran los dos elementos transferidos al metaverso de escala museística. Estos, junto con el recinto amurallado en la Figura 106 sirven de referencias, al ser todos elementos situados en un mismo contexto, con las que ubicar lo más fidedignamente posible la hipótesis de reconstrucción.

Figura 104

Quemaperfumes en el metaverso (Fuente: elaboración propia). <https://skfb.ly/otEYo>



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 105

Base de arranque de arco en el metaverso (Fuente: elaboración propia).
<https://skfb.ly/otEY6>



Figura 106

Recinto amurallado del castillo de Montilla en el metaverso (Fuente: elaboración propia).
<https://skfb.ly/otEXX>



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4.6.3. Las reconstrucciones virtuales mediante comparación con paralelos

El tercer resultado, comienza con la interpretación del patrimonio heredado de la torre del Homenaje del castillo del Gran Capitán de Montilla. Para ello se ha desarrollado un estudio, análisis y diagnóstico de diferentes tipos de recursos para plantear una hipótesis plausible de dicha pieza patrimonial en el metaverso.

En primer lugar, las referencias históricas y fuentes escritas documentadas por cronistas y destacados historiadores, así como todo tipo de informes arqueológicos relacionados directamente con la torre objeto de esta investigación. Por otro lado, los documentos gráficos existentes de distintas épocas que permiten concretar un primer análisis visual. Por último, comparando nuestra recreación virtual con otros modelos patrimoniales próximos en época histórica y en localización geográfica lo que permite llegar a un nivel máximo de detalle para mostrarlo a escala real.

En base a estos tres puntos se asienta el resultado de recomposición de la torre del Homenaje en su estado original del castillo al que perteneció, ya que la profundidad de la investigación no alcanza a concretar más aspectos patrimoniales, históricos o arquitectónicos que sustenten interpretaciones virtuales de mayor envergadura. En las Figuras 107, 108 y 109, se muestran los distintos elementos, tanto interiores como de volúmenes exteriores, que conforman el esqueleto de la hipótesis de torre del Homenaje de Montilla. Cada elemento está íntimamente relacionado con su paralelo real.

Figura 107

Réplica virtual de saetera y tronera en el metaverso (Fuente: elaboración propia).
<https://skfb.ly/otG9M>



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 108

Réplica del módulo sintetizado de la rampa de la torre Garci Méndez, base de modelado de la rampa a través de la unión de módulos en el metaverso (Fuente: elaboración propia).
<https://skfb.ly/otG9O>



Figura 109

Replica virtual de estructura de arquería con todos sus elementos constructivos que resuelve las diferentes plantas en el metaverso (Fuente: elaboración propia).
<https://skfb.ly/otG9P>



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

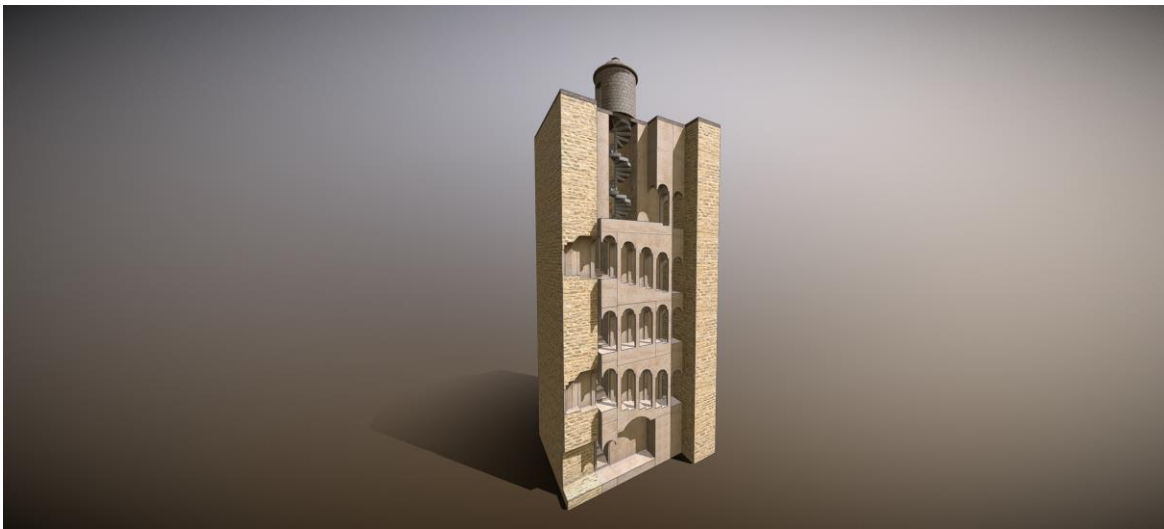
4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

En la Figura 110, se muestra el módulo renderizado y cómo se ha ido agrupando el mismo en el metaverso hasta confeccionar un elemento interior de comunicación vertical, el cual sería imposible de visualizar tal cual si la torre estuviese construida. De hecho, en la torre de El Carpio no es posible contemplar in situ este sistema de una sola impresión ni, mucho menos, obtener una fotografía de todo el conjunto. Nótese que en la parte superior se ha dejado un hueco para insertar la escalera de caracol, obtenida de la torre de Belalcázar, ya que según fuentes documentadas se conoce que existía una escalera de caracol para acceder al exterior. Se observa insertado todo el conjunto de sistemas de comunicación vertical, tanto rampa como escalera de caracol, rodeado de la piel del muro de sillería de la torre. Incluso, se pueden apreciar las perforaciones de las saeteras en el muro que comunican directamente el exterior con descansillos intermedios de la rampa.

Figura 110

Modelado del sistema de comunicación vertical completo con la piel de la torre y perforaciones para las troneras en el metaverso (Fuente: elaboración propia).

<https://skfb.ly/otG9R>



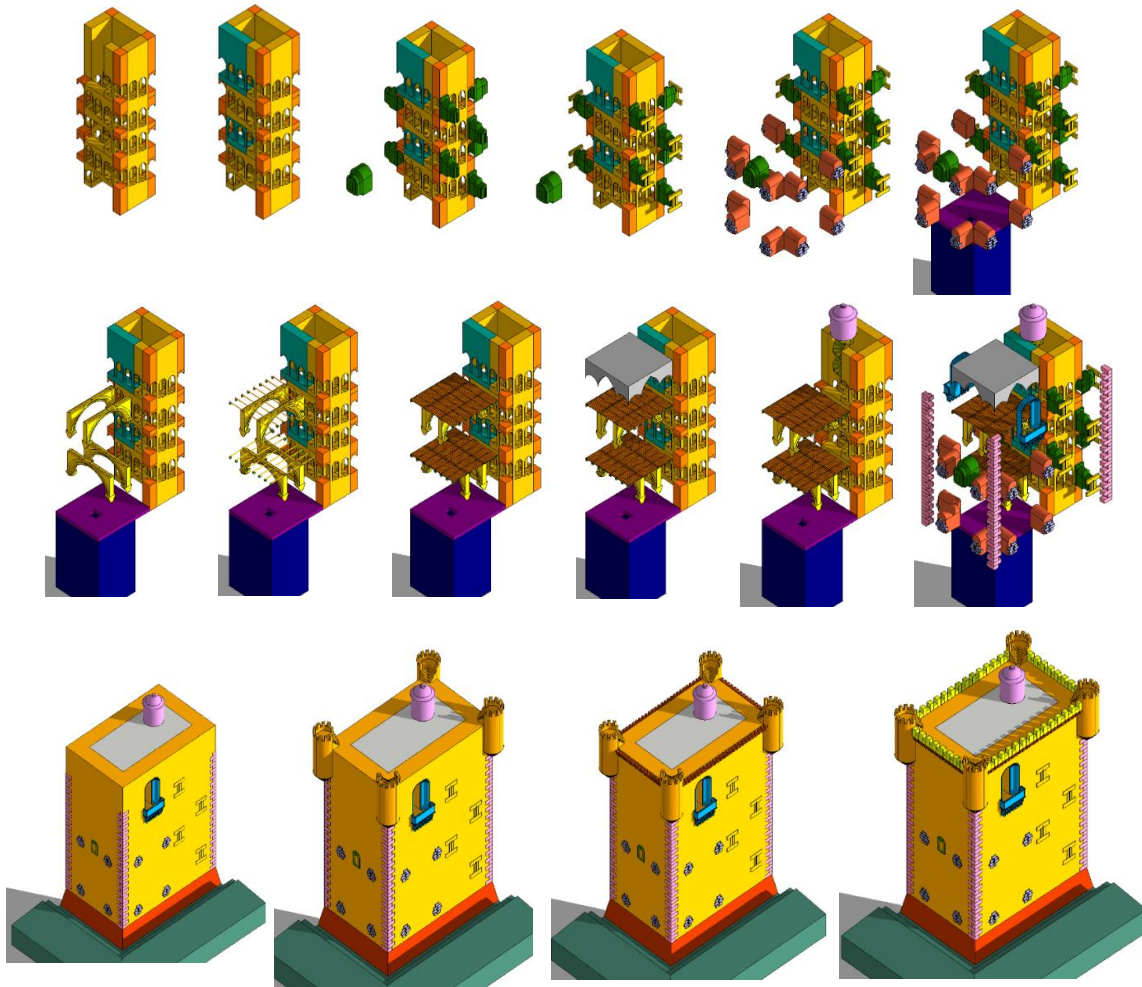
Por último, la Figura 111 muestra a modo de mecano evolutivo tridimensional cómo se han ido insertando cada una de las piezas que individualmente se han creado en el metaverso siguiendo la metodología descrita en el capítulo 2.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 111

Composición de cada una de las piezas para conformar el modelo virtual de la torre del Homenaje del castillo de Montilla (Fuente: elaboración propia).



4.6.4. Los metaversos.

Por último, y con mayor grado de complejidad el cuarto resultado se centra en el diseño de dos tipos de metaversos mediante un software específico¹⁷ a los que se accede mediante la utilización de gafas RV (Oculus) conectadas a un equipo informático de características avanzadas.

El primero de ellos denominado “el patio”, es un escenario de un museo que da credibilidad a los objetos dentro de una escala real. En este escenario se contemplan los diferentes elementos que han servido de base constructiva para la reconstrucción virtual de la torre del Homenaje. Se trata de una réplica tal cual existe en los paralelos y como piezas de un mecano van conformando el resultado del segundo escenario.

Tomar referencias visuales que le posibiliten referenciar el objeto observado es vital para situar al visitante en un contexto edificado. El modelo elegido para dotar a ese espacio etéreo donde se han ubicado dichos elementos es el patio del MAN (Man - Museo Arqueológico Nacional, s. f.), que ha servido de contexto virtual para introducir al visitante en el entramado virtual modelizado de la torre del Homenaje.

De esta manera los alumnos y profesores participan en una experiencia inmersiva del metaverso, que no consiste en un videojuego o en un mero avatar tipo títere, sino que cada uno puede experimentar en su mismo cuerpo una realidad distinta. Como ya se ha destacado resulta complicado trasladar a las páginas de este texto la experiencia de lo comentado. Por lo tanto, en las siguientes Figuras 112 -119, se observa un recorrido por este escenario virtual donde inspeccionar las distintas piezas patrimoniales.

El espacio creado no constituye un museo tradicional en el que solamente se observa una pieza histórica en una vitrina a distancia, sino que el usuario, que vive la experiencia inmersiva, puede apreciar todo detalle que desee por minúsculo que sea. Este entorno virtual dota a la experiencia de mayor realismo librando al usuario del entorno frío y hostil que hace sentir el metaverso del no lugar; al mismo tiempo, que dota al espacio de un aislamiento necesario para que el efecto de la inmersión sea lo más completa posible.

¹⁷ *Twinmotion is a cutting edge real-time architectural visualization tool.* (s. f.). Twinmotion. Recuperado 15 de marzo de 2022, de <https://www.twinmotion.com/>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 112

Vista general de acceso a la exposición (Fuente: elaboración propia).



Figura 113

Detalle de quemaperfumes (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 114

Vista del panel expositivo (Fuente: elaboración propia).



Figura 115

Detalle de tronera (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 116

Detalle de saetera (Fuente: elaboración propia).

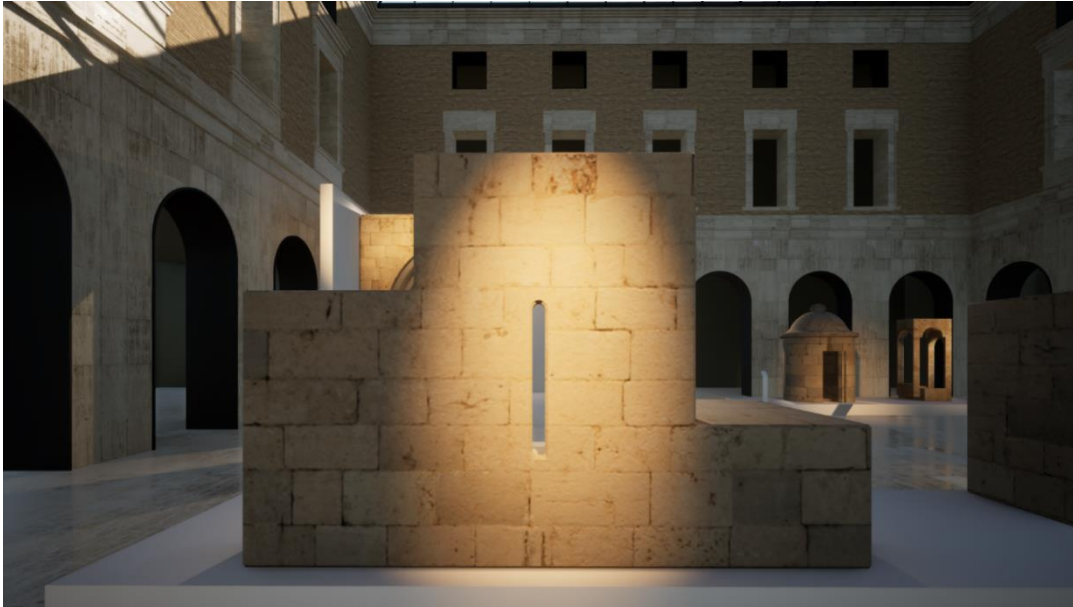


Figura 117

Detalles de formación de arquería (Fuente: elaboración propia).



EL METaverso EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 118

Módulos de comunicación vertical (Fuente: elaboración propia).



Figura 119

Vista general del patio (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

El segundo escenario o metaverso (Figuras 120 – 127) fusiona la hipótesis de la torre del Homenaje de Montilla con el entorno natural y geográfico que perdura en la actualidad (realizado mediante levantamiento fotogramétrico). La fusión de la hipótesis constructiva de la torre con la superficie del terreno actual se entiende que fue la zona de trabajo del castillo.

Se recrea virtualmente el espacio o entorno teórico a través de fotogrametría, conformándose un metaverso natural y geográfico que se corresponde con la imagen visual integrada de todo el conjunto. Es decir, se ha fusionado lo que ha interesado de la realidad paisajística de hoy y se ha completado con la parte que ya desapareció a lo largo de los siglos, creando un mundo que puede recorrerse a escala real para sentir la misma impresión que en el siglo XV experimentaron los lugareños de este enclave defensivo y palaciego.

Figura 120

Vista aérea en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 121

Vista norte en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad (Fuente: elaboración propia).



Figura 122

Vista general en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 123

Vista a pie de terreno en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad (Fuente: elaboración propia).



Figura 124

Vista aérea desde el norte en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 125

Vista este en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad (Fuente: elaboración propia).



Figura 126

Vista principal en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Figura 127

Vista aérea desde el sur en la que se fusionan la torre del Homenaje y Alhorí en la actualidad (Fuente: elaboración propia).



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4.7. Conclusiones.

Con todo lo investigado durante esta tesis doctoral, se ha llegado a las siguientes conclusiones que se identifican en los seis puntos siguientes, dando respuesta a los objetivos específicos expresados en el primer capítulo de este documento:

Objetivo 1º. Hacer un uso pedagógico del metaverso, aplicado, por un lado, en el conocimiento del Dibujo Técnico en ingeniería, y por otro (sin perder el punto de vista de la expresión gráfica del ingeniero), del entorno físico de nuestro patrimonio, tanto edificado como paisajístico.

El uso del metaverso aplicado a las materias de expresión gráfica complementa la metodología tradicional docente en los cursos de grado y posgrado. La aplicación de estas tecnologías emergentes de Realidad Virtual y Aumentada en el aula asienta el aprendizaje cognitivo del alumnado de ingeniería gráfica. Los resultados obtenidos justifican que los recursos de visualización tridimensional enriquecen positivamente el proceso de aprendizaje universitario en las asignaturas de expresión gráfica en la educación universitaria.

Objetivo 2º. Aplicar el metaverso para que el usuario (alumnado y cualquier otro agente interesado) interactúe con los modelos generados.

Siguiendo una metodología precisa se ha elaborado una colección de ejercicios básicos y avanzados de sistema diédrico y axonométrico como material docente a impartir en los grados de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural, Grado de Ingeniería Forestal y el Grado de Ingeniería Electrónica Industrial de la Universidad de Córdoba. El repositorio creado se diseña mediante un sistema escalable con capacidad de adaptación a diferentes necesidades.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Objetivo 3º. Evaluar la respuesta del alumnado, principalmente, y del público en general ante las actividades y experiencias propuestas en el metaverso, especialmente el grado de atención, relevancia, confianza y satisfacción de los conceptos y desarrollo de las competencias clave e interdisciplinares en educación.

Se ha diseñado un cuestionario, como instrumento sólido y particularizado al segmento de la expresión gráfica en la ingeniería, para validar el modelo ARCS de evaluación y análisis del grado de motivación del alumnado. Algunas conclusiones del análisis son:

- Los estudiantes han reaccionado de manera positiva a la inclusión de los recursos 3D generados en su proceso de aprendizaje.
- Las tecnologías RV y RA ayudan a aumentar el grado de motivación de los estudiantes analizados, por lo tanto, facilitan su proceso de e-learning.
- Las gafas de RV para la visualización de los ejercicios son la opción preferida por los estudiantes durante la experiencia práctica en el metaverso, ya que proporcionan una inmersión completa en el mundo virtual.
- El momento óptimo para utilizar el metaverso en el proceso enseñanza-aprendizaje se produce “después de pensar en el ejercicio a resolver y antes de su ejecución”.
- Dentro del modelo de diseño motivacional de Keller, salvo en el factor de “satisfacción”, no se observan diferencias significativas entre hombres y mujeres.
- Las gafas de RV son el dispositivo mejor valorado para visualizar los ejercicios en 3D.

Objetivo 4º. Interpretar, de manera científica, el patrimonio heredado de la torre del Homenaje del castillo del Gran Capitán de Montilla.

Se plantea una hipótesis plausible en el metaverso de la torre del Homenaje del castillo del Gran Capitán de Montilla profundizando en las referencias históricas y fuentes escritas documentadas por cronistas, arqueólogos y destacados historiadores, la documentación gráfica existente de distintas épocas y tomando como referencias constructivas paralelos arquitectónicos que permiten alcanzar el máximo nivel de detalle. Se ha recreado virtualmente el espacio y entorno físico teórico, conformándose un metaverso natural y geográfico que se correspondería con la imagen integrada de conjunto del castillo de Montilla.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

4. LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

Objetivo 5º. Poner en valor las actividades y los metaversos creados, bien sea actividades básicas como otras más complejas sobre el patrimonio.

Se ha trabajado un modelo alternativo al espacio etéreo donde se han desarrollado las prácticas de geometría descriptiva. El entorno diseñado se corresponde con una simulación de uno de los patios del MAN (Museo Arqueológico Nacional), en el que se han expuesto las piezas patrimoniales modelizadas y texturizadas que forman los componentes de la torre del Homenaje.

Objetivo 6º. Establecer o esbozar una línea programática a seguir para diseñar actividades y experiencias que consideren el metaverso como una herramienta principal.

Se ha elaborado una línea programática para diseñar actividades docentes y experiencias en metaversos como herramienta principal. Tanto la propuesta metodológica que se presenta en este trabajo como la valoración de los metaversos en el proceso de enseñanza-aprendizaje deben entenderse como puntos de partida sobre los cuales futuras investigaciones podrán desarrollar avances en las distintas técnicas aplicadas.

CAPITULO 5. Referencias bibliográficas

5.1. Bibliografía

Adanez, G. P., & Velasco, A. D. (2002). Predicting academic success of engineering students in technical drawing from visualization test scores. *Journal of Geometry and Graphics*, 6(1), 99-109.

Adobe Color. (s. f.). Recuperado 17 de marzo de 2022, de <https://color.adobe.com/es/create/color-wheel>

Alvarez, F. J. A., Parra, E. B. B., & Montes Tubio, F. (2017). Improving graphic expression training with 3D models. *Journal of Visualization*, 20(4), 889-904.

Apple developer documentation. (s. f.). Recuperado 17 de marzo de 2022, de <https://developer.apple.com/documentation/arkit/>

ARCore. (s. f.). Google Developers. Recuperado 17 de marzo de 2022, de <https://developers.google.com/ar/develop/augmented-images?hl=es-419>

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., & Kinshuk. (2018). Insights Into the Factors Influencing Student Motivation in Augmented Reality Learning Experiences in Vocational Education and Training. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01486>

Balsam, P., Borodzicz, S., Malesa, K., Puchta, D., Tyimińska, A., Ozierański, K., Kołtowski, Ł., Peller, M., Grabowski, M., Filipiak, K. J., & Opolski, G. (2019). OCULUS study: Virtual reality-based education in daily clinical practice. *Cardiology Journal*, 26(3), 260-264. <https://doi.org/10.5603/CJ.a2017.0154>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbudo, M. A. J. (2013). Las tercias pertenecientes al marquesado de Priego. *Ambitos: revista de estudios de ciencias sociales y humanidades*, 30, 93-106.
- Base de arco medieval—3D modelado por Alejandro Mohedo. (2019).
<https://sketchfab.com/models/79571d981f8a4d5f8094e0fcae91df0b/embed?autostart=1>
- Bazarov, S. E., Kholodilin, I. Y., Nesterov, A. S., & Sokhina, A. V. (2017). Applying Augmented Reality in practical classes for engineering students. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 87(3), 032004.
- Bennett, S., Maton, K., & Kervin, L. (2008). The “digital natives” debate: A critical review of the evidence. *British journal of educational technology*, 39(5), 775-786.
- Blanco, J., Bosoer, L., & Apaolaza, R. (2014). Gentrification, mobility and transport: Conceptual approaches and lines of inquiry. *Revista De Geografia Norte Grande*, 58, 41-53.
<https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000200003>
- Boletín Oficial de la Universidad de Córdoba. (s. f.-a). Recuperado 19 de marzo de 2022, de
<https://sede.uco.es/bouco/bandejaAnuncios/BOUCO/2019/00660>
- Boletín Oficial de la Universidad de Córdoba. (s. f.-b). Recuperado 19 de marzo de 2022, de
<https://sede.uco.es/bouco/bandejaAnuncios/BOUCO/2021/00917>
- Bolliger, D. U., Supanakorn, S., & Boggs, C. (2010). Impact of podcasting on student motivation in the online learning environment. *Computers & Education*, 55(2), 714-722.
- Cabello Montoro, R. (2017). *La huella de la Corredera*. Diputación Provincial de Córdoba.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J., Llorente-Cejudo, C., & Fernández Martínez, M. del M. (2019). Educational uses of augmented reality (AR): Experiences in educational science. *Sustainability*, 11(18), 4990.
- Cabero-Almenara, J., & Roig-Vila, R. (2019). The motivation of technological scenarios in augmented reality (AR): Results of different experiments. *Applied Sciences*, 9(14), 2907.
- Cabrera Sánchez, M. (1999). El señorío de El Carpio en el siglo XV. *Aragón en la Edad Media* 14-15 (1), 227-242 (1999). <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/2613>
- Carbonell-Carrera, C., & Saorin, J. L. (2017). Virtual Learning Environments to Enhance Spatial Orientation. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(3). <https://doi.org/10.12973/ejmste/79171>
- Cardoso, O. I. H., Kus, A., Unver, E., Aslan, R., Dawood, M., Kofoglu, M., & Ivanov, V. (2019). A design-based approach to enhancing technical drawing skills in design and engineering education using VR and AR tools. *14th international joint conference on computer vision, imaging and computer graphics theory and applications*, 306-313.
- Chang, S.-C., & Hwang, G.-J. (2018). Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students scientific project performance and perceptions. *Computers & Education*, 125, 226-239. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.007>
- Chen, H., Feng, K., Mo, C., Cheng, S., Guo, Z., & Huang, Y. (2011). Application of Augmented Reality in Engineering Graphics Education. *2011 IEEE International Symposium on IT in Medicine and Education*, 2, 362-365. <https://doi.org/10.1109/ITiME.2011.6132125>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chester, I. (2007). Teaching for CAD expertise. *International Journal of Technology and Design Education*, 17(1), 23-35. <https://doi.org/10.1007/s10798-006-9015-z>
- Chou, G.-J., & Wang, R.-Z. (2020). The Nested QR Code. *IEEE Signal Processing Letters*, 27, 1230-1234. <https://doi.org/10.1109/LSP.2020.3006375>
- Cook, D. A., Beckman, T. J., Thomas, K. G., & Thompson, W. G. (2009). Measuring motivational characteristics of courses: Applying Keller's instructional materials motivation survey to a web-based course. *Academic Medicine*, 84(11), 1505-1509.
- Cosme, A. M. (s. f.). Del ICRBC al IPCE. 25 años de conservación del patrimonio arquitectónico. *25 AÑOS DE RESTAURACIÓN MONUMENTAL*, 65.
- Covolan, J. P. M., Sementille, A. C., & Sanches, S. R. R. (2020). A mapping of visual SLAM algorithms and their applications in augmented reality. *2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, 20-29. <https://doi.org/10.1109/SVR51698.2020.00019>
- de Ayala Martínez, C. (2007). *Las órdenes militares hispánicas en la Edad Media (siglos XII-XV)*. Marcial Pons Historia.
- De Moxó, S. (1979). *Repoblación y sociedad en la España cristiana medieval* (Vol. 18). Rialp.
- Di Serio, Á., Ibáñez, M. B., & Kloos, C. D. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers & Education*, 68, 586-596. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.002>
- Diago Hernando, M. (1996). Una institución de representación política del campesinado en la Castilla bajomedieval: Las "Universidades de Tierra". *Historia. Instituciones. Documentos*, 1996,(23): 283-306.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Díaz-Parra, I. (2015). One way only. Gentrification and urban planning in Seville. *Eure-Revista Latinoamericana De Estudios Urbano Regionales*, 41(122), 145-166.
<https://doi.org/10.4067/S0250-71612015000100007>
- Domènec, J. E. R. (2004). El Gran Capitán: Un andaluz para la eternidad. *Andalucía en la historia*, 4, 94-99.
- Duffy, G., Sorby, S., & Bowe, B. (2020). An investigation of the role of spatial ability in representing and solving word problems among engineering students. *Journal of Engineering Education*, 109(3), 424-442. <https://doi.org/10.1002/jee.20349>
- Dunleavy, M. (2014). Design Principles for Augmented Reality Learning. *TechTrends*, 58(1), 28-34. <https://doi.org/10.1007/s11528-013-0717-2>
- EJERCICIO 001—3D modelado por Alejandro Mohedo. (2019).
<https://sketchfab.com/models/1954907c47744ac890b40773f302cef6/embed?autostart=1>
- EJERCICIO_09—3D modelado por Alejandro Mohedo. (2021).
<https://sketchfab.com/models/705c2f0a9d6143378a31760450adf449/embed?autostart=1>
- Escobar, J. M. (1987). El recinto amurallado de la Córdoba bajomedieval. *la España medieval*, 10, 125-152.
- Estepa Rubio, J. (2017). *Aproximación geométrica y espacial y reconstrucción virtual de la Iglesia de Santa María de Cazorla a través de sus ruinas*.
- Falini, P. (1990). Protección, reforma y renovación urbana en Italia. *Urbanismo: revista oficial del Colegio de Arquitectos de Madrid*, 9, 25-43.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an Action Video Game Reduces Gender Differences in Spatial Cognition. *Psychological Science*, 18(10), 850-855. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01990.x>
- Feng Zhou, Duh, H. B.-L., & Billinghurst, M. (2008). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 193-202. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637362>
- Fernández Laso, M. C., Sarmiento Guede, J. R., & Pe??a Romo, V. (2018). *Patrimonio cultural y marketing digital*.
- Fitz, F. G. (2009). La Reconquista: Un estado de la cuestión. *Clío & crimen*, 6, 142-215.
- Future today institute—Tech trends and escenarios. (2017, marzo 2). <https://futuretodayinstitute.com/>
- Gaibrois, M. B. (1953). *La obra de Isabel la Católica*. Excma. <https://books.google.es/books?id=1OzTAAAAMAAJ>
- Gerson, H. B. P., Sorby, S. A., Wysocki, A., & Baartmans, B. J. (2001). The development and assessment of multimedia software for improving 3-D spatial visualization skills. *Computer Applications in Engineering Education*, 9(2), 105-113. <https://doi.org/10.1002/cae.1012>
- Gil Crespo, I. J. (2013). *Fundamentos constructivos de las fortificaciones fronterizas entre las coronas de Castilla y Aragón de los siglos XII al XV en la actual provincia de Soria* [PhD Thesis]. Arquitectura.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Glenn, J. K., & Goldman, J. (1976). Task delegation to physician extenders—Some comparisons. *American Journal of Public Health*, 66(1), 64-66. <https://doi.org/10.2105/ajph.66.1.64>
- Greengard, S. (2019). *Virtual reality*. Mit Press.
- Hanan, H., Suwardhi, D., Nurhasanah, T., & Bukit, E. S. (2015). Batak Toba Cultural Heritage and Close-range Photogrammetry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 184, 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.05.079>
- HERÁLDICOS, E. (2012). Identificación, evocación y conformación en los emblemas heráldicos: El caso de las armas parlantes. *Emblemata*, 18, 41-70.
- Herrero Vázquez, E. (2006). *Compases de mano, compases de ojo la geometrización de la realidad según Laussedat*.
- Herrero Vázquez, E. (2008). Compases de mano, compases de ojo, la geometrización de la realidad según Laussedat [Reseña]. *EGE: Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, 5, 108-109.
- Hsi, S., Linn, M. C., & Bell, J. E. (1997). The Role of Spatial Reasoning in Engineering and the Design of Spatial Instruction. *Journal of Engineering Education*, 86(2), 151-158. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1997.tb00278.x>
- Huang, B., & Hew, K. F. T. (2016). Measuring learners' motivation level in massive open online courses. *International Journal of Information and Education Technology*.
- Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ibañez-Etxeberria, A., Gómez-Carrasco, C. J., Fontal, O., & García-Ceballos, S. (2020). Virtual Environments and Augmented Reality Applied to Heritage Education. An Evaluative Study. *Applied Sciences*, 10(7), 2352. <https://doi.org/10.3390/app10072352>
- Idaho virtualization laboratory(@ivlpaleontology). (s. f.). Sketchfab. Recuperado 22 de marzo de 2022, de <https://sketchfab.com/ivlpaleontology>
- Immersive web developer home. (s. f.). Recuperado 19 de marzo de 2022, de <https://immersiveweb.dev/>
- Izquierdo Asensi, F. (2000). *Geometría descriptiva*.
- Janoschka, M., Sequera, J., & Salinas, L. (2014). Gentrification in Spain and Latin America—A Critical Dialogue. *Revista De Geografia Norte Grande*, 58, 7-40. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000200002>
- Javier, A. A., Blázquez, E. B., & Tubio, F. (2017). Improving graphic expression training with 3D models. *Journal of Visualization*, 20. <https://doi.org/10.1007/s12650-017-0424-8>
- Jiménez-Hornero, F. J., de Ravé, E. G., Ariza-Villaverde, A. B., & Taguas-Ruiz, J. (2016). DiedricAR: A mobile augmented reality system designed for the ubiquitous descriptive geometry learning. *Multimedia Tools and Applications*, 75(16), 9641-9663. <https://doi.org/10.1007/s11042-016-3384-4>
- JOHNSON, M. (2012). A pilot study examining the motivational effect of instructional materials on EFL learning motivation. 北海道言語文化研究, 39-47.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ke, F., & Hsu, Y.-C. (2015). Mobile augmented-reality artifact creation as a component of mobile computer-supported collaborative learning. *The Internet and Higher Education*, 26, 33-41.

<https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2015.04.003>

Keller, J. (1987). Desarrollo y uso del modelo ARCS de diseño instruccional. *Journal of Instructional Development*, 10(2), 2-10.

Keller, J. M. (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of instructional development*, 10(3), 2-10.

Keller, J. M. (2010). *Motivational Design for Learning and Performance*. Springer US.

<https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1250-3>

Kesim, M., & Ozarslan, Y. (2012). Augmented Reality in Education: Current Technologies and the Potential for Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 47, 297-302.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.654>

Kew, S. N., Petsangsri, S., Ratanaolarn, T., & Tasir, Z. (2018). Examining the motivation level of students in e-learning in higher education institution in Thailand: A case study. *Education and Information Technologies*, 23(6), 2947-2967. [https://doi.org/10.1007/s10639-018-9753-](https://doi.org/10.1007/s10639-018-9753-z)

[z](https://doi.org/10.1007/s10639-018-9753-z)

Koeva, M., Luleva, M., & Maldjanski, P. (2017). Integrating Spherical Panoramas and Maps for Visualization of Cultural Heritage Objects Using Virtual Reality Technology. *Sensors*, 17(4), 829. <https://doi.org/10.3390/s17040829>

Kugelmann, D., Stratmann, L., Nühlen, N., Bork, F., Hoffmann, S., Samarbarksh, G., Pferschy, A., von der Heide, A. M., Eimannsberger, A., Fallavollita, P., Navab, N., & Waschke, J.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (2018). An Augmented Reality magic mirror as additive teaching device for gross anatomy. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 215, 71-77.
<https://doi.org/10.1016/j.aanat.2017.09.011>
- Kye, B., Han, N., Kim, E., Park, Y., & Jo, S. (2021). Educational applications of metaverse: Possibilities and limitations. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*, 18.
<https://doi.org/10.3352/jeehp.2021.18.32>
- Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. *TechTrends*, 56(2), 13-21.
<https://doi.org/10.1007/s11528-012-0559-3>
- León Muñoz, A. (2001). *El castillo de Belalcázar: De Fortaleza señorial a residencia palaciega en el final del Medioevo*. Asociación Española de Amigos de los Castillos.
<http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/3730>
- León Muñoz, A. (2005). *Las Torres del Homenaje como referente del paisaje político en el Reino de Córdoba*.
- Leontitsis, A., & Pagge, J. (2007). A simulation approach on Cronbach's alpha statistical significance. *Mathematics and Computers in Simulation*, 73(5), 336-340.
- Lin, C.-F., Lu, M.-S., Chung, C.-C., & Yang, C.-M. (2010). A comparison of problem-based learning and conventional teaching in nursing ethics education. *Nursing Ethics*, 17(3), 373-382. <https://doi.org/10.1177/0969733009355380>
- Lord, T. R. (1985). Enhancing the visuo-spatial aptitude of students. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 395-405. <https://doi.org/10.1002/tea.3660220503>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Man—Museo arqueológico nacional. (s. f.). Recuperado 15 de marzo de 2022, de <http://www.man.es/man/home.html>

Mann, S. (2002). Mediated reality with implementations for everyday life. *Presence Connect*, 1, 2002.

MÁRQUEZ CRUZ, F. (1976). *Pueblos Cordobeses de la A (a) la Z*. Córdoba.

Martin Gutierrez, J., & Meneses Fernandez, M. D. (2014). Augmented Reality Environments in Learning, Communicational and Professional Contexts in Higher Education. *Digital Education Review*, 26. <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000215948400004>

Martín, J.-L. (2003). *Enrique IV de Castilla: Rey de navarra, príncipe de Cataluña* (Vol. 14). Editorial NEREA.

Marto, A., & Gonçalves, A. (2019). Mobile AR: User Evaluation in a Cultural Heritage Context. *Applied Sciences*, 9(24), 5454. <https://doi.org/10.3390/app9245454>

Mayrose, J. (2012). Active learning through the use of virtual environments. *American Journal of Engineering Education (AJEE)*, 3(1), 13-18.

Medri, M. (2003). *Manuale di rilievo archeologico* (1. ed). GLF editori Laterza.

Melian-Melian, J. A., & Martin-Gutierrez, J. (2018). Design and usability of learning objects applied in graphic expression. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1134-1149. <https://doi.org/10.1002/cae.21946>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Microsoft HoloLens | Tecnología de realidad mixta para empresas. (s. f.). Recuperado 17 de marzo de 2022, de <https://www.microsoft.com/es-es/hololens>

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telem manipulator and Telepresence Technologies*, 2351, 282-292. <https://doi.org/10.1117/12.197321>

Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. *Commissioned paper-Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision. Washington DC: National Academy of Sciences*, 308.

Modelado del sistema de comunicación vertical—3D modelado por Alejandro Mohedo. (2019). <https://sketchfab.com/models/b29612dc1e7c4e7c8e7defa472d8cc99/embed?autostart=1>

Módulo sintetizado de la rampa—3D modelado por Alejandro Mohedo. (2019). <https://sketchfab.com/models/4f1775f930bf41c19dab8b3906ef9d67/embed?autostart=1>

Mohedo Gatón, A. (s. f.). 3d models by dibujo etsiam(@dibujo_etsiam_1). Sketchfab. Recuperado 15 de marzo de 2022, de https://sketchfab.com/DIBUJO_ETSIAM_1/models

Morell, R. V. G., Miranda, V.-M. G., & Alamar, M. D. V. (2010). Consideraciones sobre las imágenes mentales en el sistema diédrico español. *Arte, individuo y sociedad*, 22(1), 111-120.

Museo arqueológico nacional(@man). (s. f.). Sketchfab. Recuperado 22 de marzo de 2022, de <https://sketchfab.com/man>

Oculus quest 2 | gafas vr todo en uno | oculus esp. (s. f.). Recuperado 22 de marzo de 2022, de <https://www.oculus.com/quest-2/>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Olmedo-Torre, N., Vidal, O. F., Castillo, J. L., & Rodríguez, F. B. (2017). The Influence of ICT on Learning in Graphic Engineering. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 237, 737-744. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2017.02.115>

Ordenación del recinto del castillo de montilla y restauración del alhorí, fase ii. (s. f.).

Recuperado 17 de marzo de 2022, de

<http://patrimoniohistorico.fomento.es/detalleProyecto.aspx?e=01479>

Ortiz Urbano, R. F. (2018). *Metodología de intervención y diseño de herramientas de Gestión del Registro de la Información Arqueológica en ámbito urbano y Arqueología de la Arquitectura. Córdoba como laboratorio.* <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/17032>

Pan, Z., Cheok, A. D., Yang, H., Zhu, J., & Shi, J. (2006). Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments. *Computers & graphics*, 30(1), 20-28.

Park, K.-B., Kim, M., Choi, S. H., & Lee, J. Y. (2020). Deep learning-based smart task assistance in wearable augmented reality. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63, 101887.

Peña Amaro, P. (2012). *Consolidación y puesta en valor de recinto amurallado y castillo de Belalcazar (Córdoba).*

Pérez, R. R. (2014). Acerca de algunos símbolos y "signos mágicos" representados en amuletos monetiformes andalusíes. *Revista Numismática OMNI*, 1, 65-78.

Pires de Andrade Neto, G. (s. f.). *Objectius i paradigmes a la rehabilitació de barris a Catalunya (1979–2008).*

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Pizarro Gómez, F. J. (2021). El patrimonio histórico-artístico como recurso turístico. *Recursos turísticos, territorio y sociedad en Extremadura: catalogación, nuevos usos y perspectivas*.
- Portero Delgado, M. A. (2020). *Aproximación al Castillo de Montilla. Reconstrucción virtual*.
- Prasolova-Forland, E., Molka-Danielsen, J., Fominykh, M., & Lamb, K. (2017). Active learning modules for multi-professional emergency management training in virtual reality. *2017 IEEE 6th International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, 461-468. <https://doi.org/10.1109/TALE.2017.8252380>
- Prince, M. (2004). Does Active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223-231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- Prince, M. J., & Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of engineering education*, 95(2), 123-138.
- Quemaperfumes tardomedieval. - 3D modelado por Alejandro Mohedo. (2021). <https://sketchfab.com/models/32dc473f1e054825b16565eb605c6b98/embed?autostart=1>
- Quiertant, P. S. (s. f.). *El inventario de arquitectura defensiva de la AEAC, un ejemplo deficiencia ciudadana en España*.
- Quintanilla López-Tafall, R. (2012). *El dolor por España en Dolores Franco, Azorín y Jacinto Bejarano. Reflexiones previas a una edición de Sentimientos patrióticos o conversaciones cristianas que un cura de aldea, verdadero amigo del país, inspira a sus feligreses (Madrid, 1791)*.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ramírez, J. F. (1987). DÍAZ-PLAJA, Fernando: Historia de España en sus documentos. Siglo XVII (Book Review). *Hispania*, 47(166), 751.
- Raso, M. C. Q. (2008). *La nobleza señorial en la Corona de Castilla*. Editorial Universidad de Granada.
- Replica virtual de estructura de arquería—3D modelado por Alejandro Mohedo*. (2019).
<https://sketchfab.com/models/b44395c47d87432280543de9667a211b/embed?autostart=1>
- Replica virtual de saetera y tronera—3D modelado por Alejandro Mohedo*. (2019).
<https://sketchfab.com/models/bcefab2ed4bc4e0ea1ac9f52acf385a0/embed?autostart=1>
- Resco, P. A., & Figueiredo, C. (2017). El grado de evidencia histórico-arqueológica de las reconstrucciones virtuales: Hacia una escala de representación gráfica. *Revista Otarq: Otras arqueologías*, 1, 235-247.
- Rey García, J. (2017). *El Castillo y la Villa Medieval de Montilla*.
- Riegl, A., & Riegl, A. (1987). *El culto moderno a los monumentos: Caracteres y origen*. Visor.
- Roca, B. C. (2016). *Gustavo Giovannoni y la didáctica de la arquitectura. Recepción en España a través de Leopoldo Torres Balbás*. Universidad de Granada.
- Rodgers, D. L., & Withrow-Thorton, B. J. (2005). The effect of instructional media on learner motivation. *International Journal of Instructional Media*, 32(4), 333.
- Rossi, A., & Tarragó, S. (1982). *La arquitectura de la ciudad*. Gustavo Gili Barcelona.
- Rubio-Tamayo, J. L., Sáez, J. M., & Gertrúdx, M. (2014). Entornos virtuales, Realidad aumentada y DBR en el contexto de aprendizaje situado: Intervenciones con Scratch, Aurasma y Kodu.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTAS ICONO14,(16), I III Congreso Internacional Sociedad Digital. Recuperado de:
<http://www.icono14.es/actas/index.php>.

Ruinas del recinto amurallado. - 3D modelado por Alejandro Mohedo. (2019).
<https://sketchfab.com/models/79398b266d964cfa863502beae09c1ea/embed?autostart=1>

Ruiz-Domènec, J. E. (2002). *El Gran Capitán: Retrato de una época*. Península.

Sánchez de Toca, J. M., & Laínez, F. M. (2008). *El Gran Capitán: Gonzalo Fernández de Córdoba*. Edaf.

SBrusse.com—WIP. (s. f.). Recuperado 22 de marzo de 2022, de
http://wip.sbrusse.com/AG_CubeMap/

Serin, H. (2020). Virtual Reality in Education from the Perspective of Teachers. *Revista Amazonia Investiga*, 9(26), 291-303. <https://doi.org/10.34069/AI/2020.26.02.33>

Sha, L., Looi, C.-K., Chen, W., Seow, P., & Wong, L.-H. (2012). Recognizing and measuring self-regulated learning in a mobile learning environment. *Computers in Human Behavior*, 28(2), 718-728. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2011.11.019>

Sorby, S. A. (2009). Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of Science Education*, 31(3), 459-480.
<https://doi.org/10.1080/09500690802595839>

Sorby, S. A., & Baartmans, B. J. (2000). The Development and Assessment of a Course for Enhancing the 3-D Spatial Visualization Skills of First Year Engineering Students. *Journal of Engineering Education*, 89(3), 301-307. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2000.tb00529.x>

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Spielberg, S. A. (2018, marzo 29). *Ready Player One* [Ciencia ficción]. Warner Bros. Pictures.
- Stone, R. J. (1995). The reality of virtual reality. *World Class Design to Manufacture*, 2(4), 11-17. <https://doi.org/10.1108/09642369310091106>
- Suárez Fernández, L. (2005). *Los Reyes Católicos*. RBA.
- Sweeney, T. (2019). Foundational principles & technologies for the metaverse. *ACM SIGGRAPH 2019 Talks*, 1-1. <https://doi.org/10.1145/3306307.3339844>
- Tallent-Runnels, M. K., Thomas, J. A., Lan, W. Y., Cooper, S., Ahern, T. C., Shaw, S. M., & Liu, X. (2006). Teaching Courses Online: A Review of the Research. *Review of Educational Research*, 76(1), 93-135. <https://doi.org/10.3102/00346543076001093>
- Tang, T. L.-P., & Austin, M. J. (2009). Students' perceptions of teaching technologies, application of technologies, and academic performance. *Computers & Education*, 53(4), 1241-1255. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.06.007>
- Taran, C. (2005). Motivation techniques in elearning. *Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'05)*, 617-619. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2005.206>
- The british museum*(@britishmuseum). (s. f.). Sketchfab. Recuperado 22 de marzo de 2022, de <https://sketchfab.com/britishmuseum>
- The guide to vr is out. | chaos*. (s. f.). Recuperado 17 de marzo de 2022, de <https://www.chaos.com/blog/guide-to-virtual-reality-2>
- Torremocha Silva, A., & Martínez Enamorado, V. (2003). *Candil*.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Torres Balbás, L. (1934). Los braseros de la Alhambra. *Al-Andalus*, 2, 389-390.
- Torres Balbás, L. (1952). Las torres de El Carpio (Córdoba) y de Porcuna (Jaén). *Al-Andalus*, 17, 200-218.
- Triviño-Tarradas, P., Mohedo Gatón, A., Carranza Cañadas, P., Burgos-Ladrón de Guevara, E., Mesas-Carrascosa, F. J., & Hidalgo Fernandez, R. E. (2022). Methodology for the Virtualisation of Engineering Drawing Exercises for Use Through Extended Reality. *International conference on The Digital Transformation in the Graphic Engineering*, 423-432.
- Triviño-Tarradas, P., Mohedo-Gatón, A., Fernández, R. E. H., Mesas-Carrascosa, F.-J., & Carranza-Cañadas, P. (2021). Preliminary results of the impact of 3D-visualization resources in the area of graphic expression on the motivation of university students. *Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00606-2>
- Tumkor, S. (2018). Personalization of engineering education with the mixed reality mobile applications. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1734-1741. <https://doi.org/10.1002/cae.21942>
- Twinmotion is a cutting edge real-time architectural visualization tool.* (s. f.). Twinmotion. Recuperado 15 de marzo de 2022, de <https://www.twinmotion.com/>
- Valverde Candil, M., & Toledo Ortiz, F. (1985). *Los castillos de Córdoba*. Caja Provincial de Ahorros y la Asociación de Amigos de Córdoba.
- Velasco, H. (2012). *Las amenazas y riesgos del patrimonio mundial y del patrimonio cultural inmaterial*.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Viegas, C., Pavani, A., Lima, N., Marques, A., Pozzo, I., Dobboletta, E., Atencia, V., Barreto, D., Calliari, F., Fidalgo, A., Lima, D., Temporão, G., & Alves, G. (2018). Impact of a remote lab on teaching practices and student learning. *Computers & Education*, 126, 201-216.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.07.012>
- Viewing vr stereo cubemaps in a browser and google cardboard | chaos*. (s. f.). Recuperado 22 de marzo de 2022, de <https://www.chaos.com/blog/viewing-vr-stereo-cubemaps-in-a-browser-and-google-cardboard>
- Villa, V., Motyl, B., Paderno, D., & Baronio, G. (2018). TDEG based framework and tools for innovation in teaching technical drawing: The example of LaMoo project. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1293-1305.
- Webxr device api*. (s. f.). Recuperado 22 de marzo de 2022, de <https://www.w3.org/TR/webxr/>
- Weissmüller, A. A. (1967). *Castles from the Heart of Spain*. CN Potter.
- Wojciechowski, R., & Cellary, W. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & education*, 68, 570-585.
- Yakar, M., & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. En H. M. El-Askary, S. Lee, E. Heggy, & B. Pradhan (Eds.), *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications* (pp. 73-75). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01440-7_18
- Yaojun, L., Quan, P., Chunhui, Z., & Feng, Y. (2012). Scene matching based EKF-SLAM visual navigation. *Proceedings of the 31st Chinese Control Conference*, 5094-5099.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Zagorov, V., & Encheva, M. (2017). Digitalization of the Repertoire of Books from the Bulgarian Revival (1801–1878). *ICERI 2017 Proceedings. 10th International Conference of Education, Research and Innovation, 16-18th November*, 3545-3548.
- Zgoul, M., & Kilani, M. (2009). Development of a multimedia toolkit for engineering graphics education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 4(3), 40-43.
- Zimmerman, B. J. (1989). A social cognitive view of self-regulated academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 81(3), 329-339. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.81.3.329>
- Zurita, J. (1989). *Historia del rey don Hernando el Católico: De las empresas y ligas de Italia*. por los Herederos de Pedro Lanaja y Lamarca.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.2. Entrevistas realizadas

Raimundo Ortiz Urbano, arqueólogo.

José Rey García, cronista oficial de Montilla y miembro de la cátedra Gran Capitán y del consejo asesor de patrimonio del Ayuntamiento de Montilla.

5.3. Documentos oficiales públicos y/o privados

Plan Nacional de Arquitectura Defensiva, 2010.

Plan de Arquitectura Defensiva de Andalucía, 2015.

Guía Digital del Patrimonio Cultural de Andalucía. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

CAPITULO 6. Apéndices

A. Glosario

El presente trabajo de investigación hace necesaria una recapitulación de la terminología específica y sus definiciones. Con el fin de aportar claridad en los conceptos se aporta como apéndice el presente glosario que proporciona definiciones para los términos clave en la creación de aplicaciones relacionadas con el metaverso.

3DOF: Abreviatura de tres grados de libertad (*Degrees Of Freedom*), también conocido como seguimiento de la orientación. Hace referencia al movimiento de un cuerpo rígido en el espacio. Los tres grados de libertad son las rotaciones alrededor de los ejes X, Y, Z.

6DOF: Abreviatura de seis grados de libertad (*Degrees Of Freedom*) seis grados de libertad, también conocidos como seguimiento de la posición. Hace referencia al movimiento de un cuerpo rígido en el espacio. Los seis grados de libertad son adelante/atrás, arriba/abajo, izquierda/derecha, X, Y, Z.

Alhorí: Granero o pósito.

Alineación fotográfica: Alineación de las imágenes y creación de la nube de puntos inicial.

ARCore: la plataforma de Google para crear experiencias de Realidad Aumentada. Usando diferentes API, ARCore permite que su teléfono detecte su entorno, comprenda el mundo e interactúe con la información. Algunas de las API están disponibles en android e iOS para permitir experiencias AR compartidas.

ARCS: modelos de diseño motivacional para el aprendizaje y el rendimiento basado en la medición de los factores de Atención, Relevancia, Confianza y Satisfacción.

ARKit: una plataforma que permite a los desarrolladores integrar experiencias de Realidad Aumentada persistentes asociadas a una ubicación concreta, detección de objetos y seguimiento de imágenes para crear aplicaciones de Realidad Aumentada aún más dinámicas.

Avatar: se refiere a una imagen o figura que representa a cada usuario en un entorno de Realidad Virtual. Es especialmente importante al progresar hacia las interacciones sociales dentro de la Realidad Virtual.

Bucle fotográfico de captura «BC»: recorrido fotográfico que se realiza perimetralmente a un objeto en la fase de toma de datos.

6. APÉNDICES

Campo de visión (FOV): el campo de visión o campo de perspectiva, también conocido por sus siglas en inglés equivalente FOV (field of view) es la extensión de mundo observable en un momento dado. En el caso de gráficos 3D por computadora se refiere al ángulo que se puede percibir del mundo virtual generado en el dispositivo de visualización asociado a la posición del punto de visión.

Casco de realidad virtual (HMD): un casco de Realidad Virtual, también llamado gafas de Realidad Virtual, visor de Realidad Virtual o HMD (del inglés head-mounted display), es un dispositivo de visualización similar a un casco, que permite reproducir imágenes creadas por ordenador sobre una pantalla muy cercana a los ojos o proyectando la imagen directamente sobre la retina de los ojos. En este segundo caso el casco de Realidad Virtual recibe el nombre de monitor virtual de retina.

Código de color: un sistema que se basa en una paleta o gama de colores con objeto de clarificar una representación gráfica compleja.

Códigos QR: del inglés (Quick Response code, «código de respuesta rápida») es la evolución del código de barras. Es un módulo para almacenar información en una matriz de puntos o en un código de barras bidimensional. La matriz se lee en el dispositivo móvil por un lector específico (lector de QR) y de forma inmediata nos lleva a una aplicación en Internet, un mapa de localización, un correo electrónico, una página web o un perfil en una red social.

C-Suites: es considerado el grupo más importante e influyente de individuos en una empresa. Ser un miembro de este grupo viene aparejado con la capacidad de tomar decisiones de alto riesgo, una carga de trabajo más exigente y una compensación elevada.

Drone: vehículo aéreo no tripulado (VANT), UAV (del inglés unmanned aerial vehicle), más apropiadamente RPAS (del inglés Remotely Piloted Aircraft System), hace referencia a una aeronave que vuela sin tripulación, la cual ejerce su función remotamente.

Extrusión: es un proceso digital utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija.

FBX: es un formato de archivo patentado (.fbx) desarrollado por Kaydara y propiedad de Autodesk desde 2006. Se utiliza para proporcionar interoperabilidad entre las aplicaciones de creación de contenidos digitales.

Fotogrametría SFM: es una técnica de adquisición de datos fotogramétricos para la estimación de estructuras tridimensionales a partir de secuencias de imágenes bidimensionales. Se emplea en los campos de la visión por ordenadores y la percepción visual.

Garitones: Torrecilla donde se cobija la vigilancia de guardia.

Geometría Descriptiva: es un conjunto de técnicas geométricas que permite representar el espacio tridimensional sobre una superficie bidimensional.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Hololens: es una plataforma de Realidad Mixta introducida como parte del sistema operativo Windows 10, que proporciona experiencias holográficas y de Realidad Mixta con pantallas compatibles montadas en la cabeza.

MAN: Museo Arqueológico Nacional es un Museo Nacional español con sede en el Palacio de Biblioteca y Museos Nacionales de Madrid. Es el principal museo español dedicado a la arqueología. Su colección se basa en piezas originarias de España, desde la Prehistoria hasta la Edad Moderna.

Mapeado UVW: mapeado de texturas establece cómo se sitúa la textura sobre el objeto al momento de proyectarse. Se asigna una coordenada para cada vértice del objeto que más adelante se va a interponer.

Matacán: es una caja de obra, maciza, cubierta y volada, o bien una galería que forma un voladizo continuo a lo largo de la coronación de una fortificación (torre, cortina, muralla, etc.) y en el que el piso en vuelo, perforado, permite el lanzamiento de proyectiles verticalmente para proteger ciertas áreas vulnerables, como el pie de las murallas.

Metaverso: son entornos donde los humanos interactúan social y económicamente como avatares, a través de un soporte lógico en un ciberespacio, el que actúa como una metáfora del mundo real, pero sin las limitaciones físicas o económicas allí impuestas.

Mota: tipo de castillo con empalizada de madera, elevado sobre la llanura.

OBJ: es un formato de archivo de definición de geometría desarrollado por primera vez por Wavefront Technologies para su programa de animación Advanced Visualizer. El formato de archivo es abierto y ha sido adoptado por otros proveedores de aplicaciones gráficas 3D. El formato de archivo OBJ es un archivo sencillo que representa sólo la geometría 3D, es decir, la posición de cada vértice y las coordenadas UV de cada textura.

Oculus VR: es una compañía estadounidense que desarrolla tecnología de Realidad Virtual, propiedad de Meta, fundada por Palmer Luckey, Brendan Iribe, Michael Antonov, Jack McCauley y Nate Mitchell en julio de 2012 en Irvine, California. Actualmente su sede se encuentra en Menlo Park. Oculus VR se especializa en productos de software y hardware de Realidad Virtual. En abril de 2012, Luckey anunció su primer producto, el Oculus Rift, un casco de Realidad Virtual, el cual permite una experiencia inmersiva en Realidad Virtual diseñado para videojuegos.

Ortofoto: es la presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos están en la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico.

Podcast: es una serie de archivos de audio que un usuario puede descargar a un dispositivo personal o bien escuchar en línea.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Realidad Aumentada: (RA) es el término que se usa para describir al conjunto de tecnologías que permiten que un usuario visualice parte del mundo real a través de un dispositivo tecnológico con información gráfica añadida por este. El dispositivo, o conjunto de dispositivos, añaden información virtual a la información física ya existente, es decir, una parte virtual aparece en la realidad. De esta manera los elementos físicos tangibles se combinan con elementos virtuales, creando así una Realidad Aumentada en tiempo real.

Realidad Disminuida: o mediada se refiere a la capacidad de agregar, sustraer información o manipular la percepción de la realidad a través del uso de una computadora corporal o dispositivo portátil.

Realidad Mixta: (RM), también llamada a veces realidad híbrida, es la combinación de realidad virtual y realidad aumentada. Esta combinación permite crear nuevos espacios en los que interactúan tanto objetos y/o personas reales como virtuales. Es decir, se puede considerar como una mezcla entre la realidad, realidad aumentada, virtualidad aumentada y realidad virtual.

Realidad Virtual: (RV) es un entorno de escenas y objetos simulados de apariencia real. La acepción más común refiere a un entorno generado mediante tecnología informática, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en él. Dicho entorno es contemplado por el usuario a través de un dispositivo conocido como gafas o casco de realidad virtual.

Restitución fotogramétrica: mediante una cámara fotográfica, permiten deducir una proyección cónica de la imagen, sus dimensiones y la ubicación de una zona.

Re-topología: es el proceso mediante el cual se optimiza la representación matemática de cualquier objeto tridimensional.

Saetera: Hueco alto y muy angosto, con abocinamiento preferentemente interior, abierto en los muros o antepechos para disparar con arcos y ballestas. Puede ser cruciforme, estribada, múltiple divergente o convergente, etc., según el modelo funcional adoptado.

Seguimiento de la posición de la cabeza: se refiere a los sensores que siguen el movimiento de la cabeza del usuario y mueven las imágenes que se están mostrando para coincidir con la posición de la cabeza.

Textura: es una imagen de mapa de bits que se usa para cubrir la superficie de un objeto virtual, ya sea tridimensional o bidimensional, con un programa de gráficos especial.

TIC: acrónimo para designar todo lo relacionado con las nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación.

Torre del Homenaje: la más destacada fuerte y defendible de una fortaleza, concebida como su último reducto de resistencia y que por tanto debe poderse aislar del resto de las fortificaciones de la plaza y ofrecer cierto grado de autonomía funcional.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Tronera: hueco pequeño, con abocinamiento interior y en ocasiones exterior, abierto en los muros y antepechos para disparar con armas de fuego portátiles o ligeras. Puede ser de palo y orbe, de cruz y orbe, circular, de buzón, etc., según la apariencia externa del modelo adoptado.

Visual SFM: es una técnica de bajo coste que tiene sus orígenes en la comunidad de la visión por computador, método fácil de utilizar, para la obtención de datos de alta resolución en un rango de escalas, capaz de representar un objeto 2D a 3D con sólo unas cuantas fotografías desde diferentes puntos de vista.

Web XR: API de dispositivos WebXR proporciona respuestas a las posibilidades de entrada (información sobre la postura de los auriculares y los controladores) y de salida (pantalla de hardware) que suelen asociarse a los dispositivos de Realidad Virtual y Realidad Aumentada. Permite desarrollar y hospedar experiencias de este tipo en la web.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

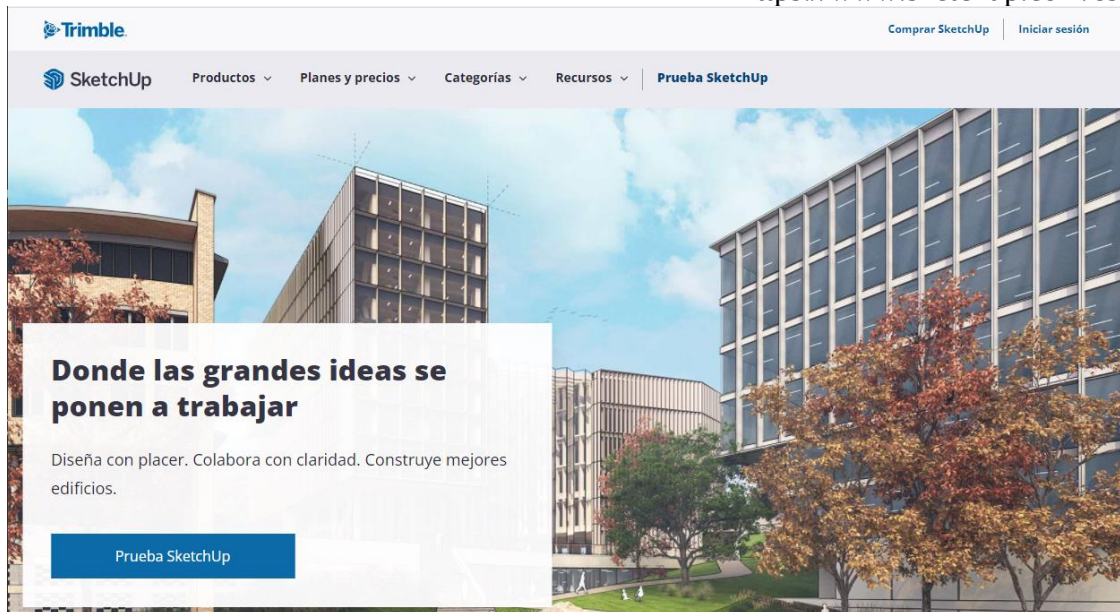
6. APÉNDICES

B. Listado de programas y equipos de laboratorio

Programas informáticos

Programa: sketchup

<https://www.sketchup.com/es>



Programa de edición gráfica sencilla CAD/CAM

Programa: Autodesk Autocad

<https://www.autodesk.es/>



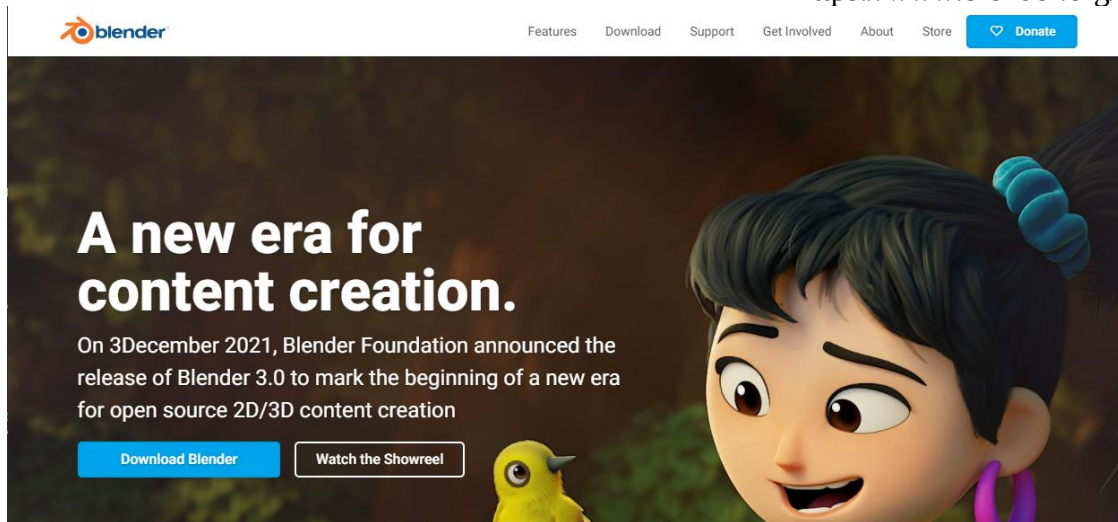
Programa de edición gráfica avanzada CAD/CAM

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Programa: Blender

<https://www.blender.org/>



Programa de edición gráfica avanzada CAD/CAM. Programa libre.

Programa: Autodesk 3DS MAX

<https://www.autodesk.es/products/3ds-max/>



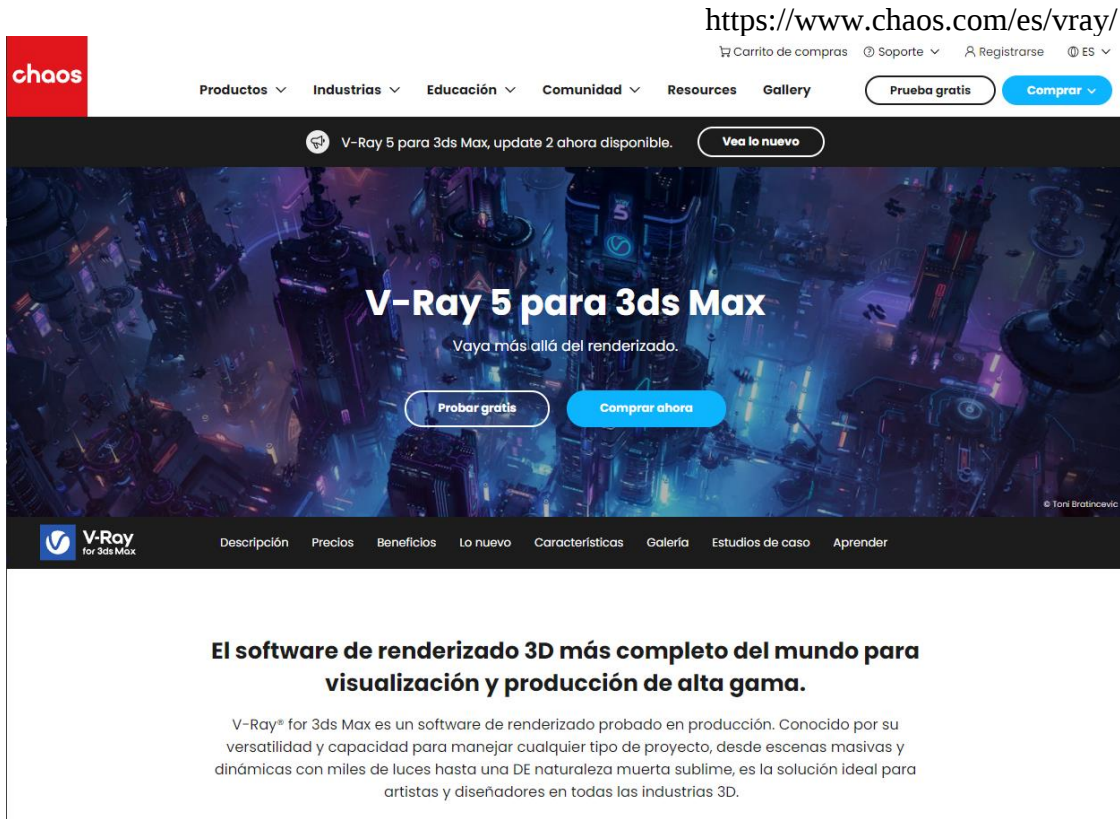
Programa de edición gráfica 3D avanzada CAD/CAM.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Programa: V-Ray 5 para 3ds Max

<https://www.chaos.com/es/vray/>



V-Ray 5 para 3ds Max

Vaya más allá del renderizado.

Probar gratis Comprar ahora

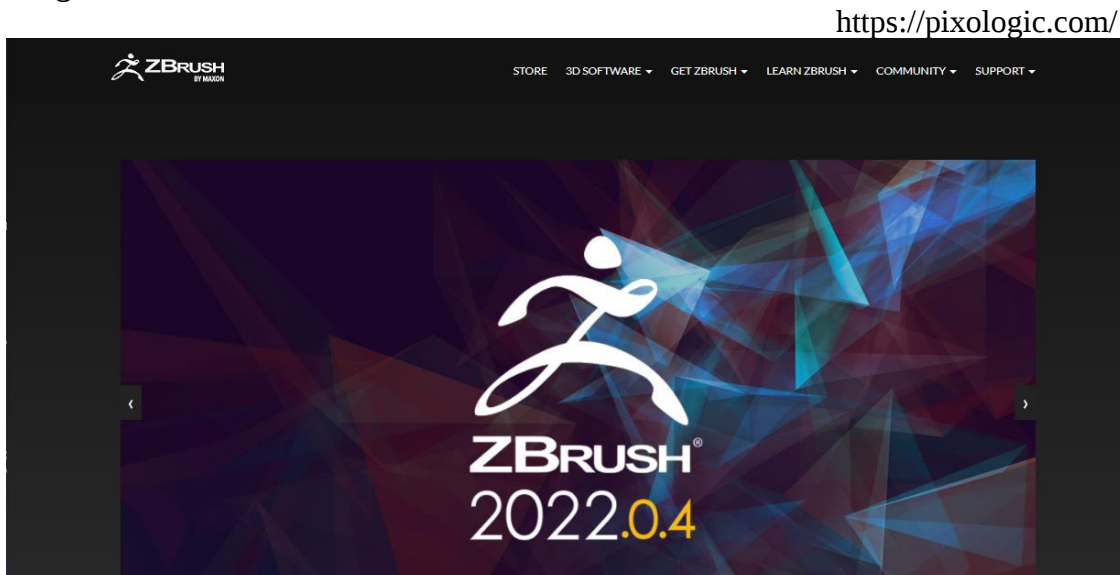
El software de renderizado 3D más completo del mundo para visualización y producción de alta gama.

V-Ray® for 3ds Max es un software de renderizado probado en producción. Conocido por su versatilidad y capacidad para manejar cualquier tipo de proyecto, desde escenas masivas y dinámicas con miles de luces hasta una DE naturaleza muerta sublime, es la solución ideal para artistas y diseñadores en todas las industrias 3D.

Complemento del programa anterior para aplicar materiales e iluminación avanzada a los escenarios anteriores.

Programa: zBrush

<https://pixologic.com/>



ZBRUSH

2022.0.4

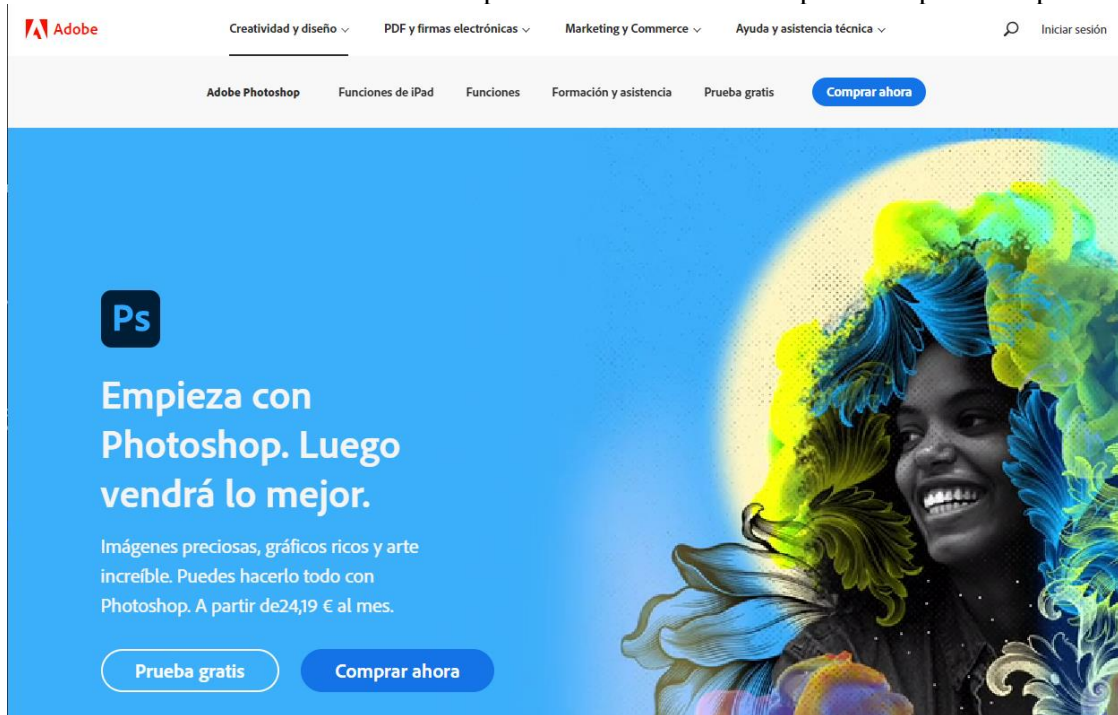
Programa de edición grafica 3D para procesos de re-topologia.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Programa: Adobe Photoshop

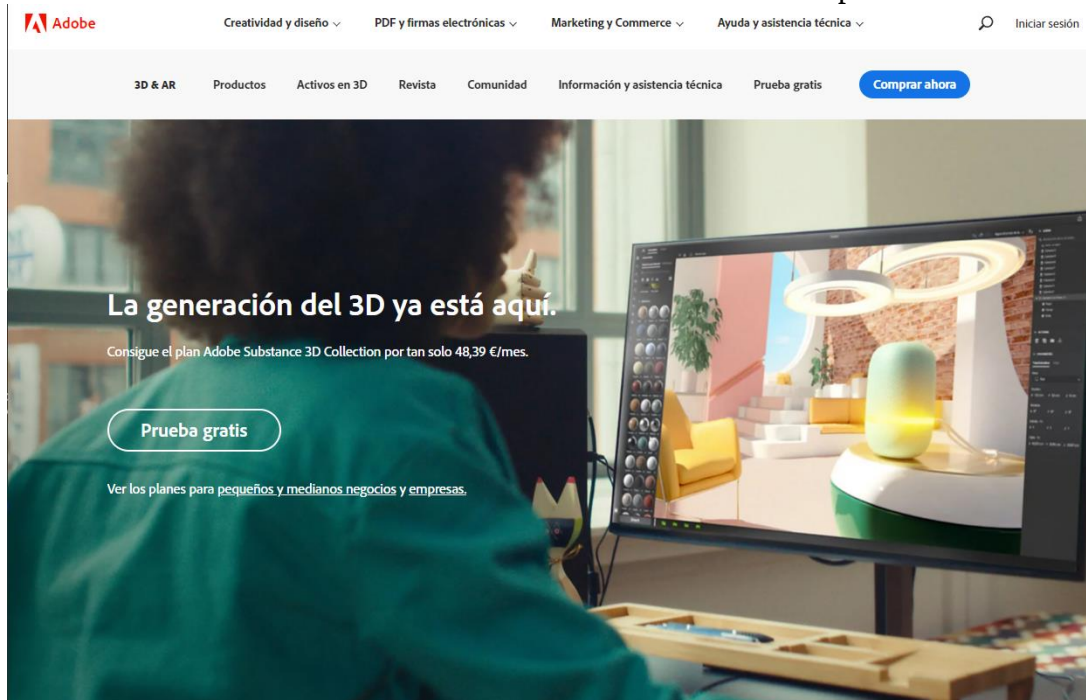
<https://www.adobe.com/es/products/photoshop.html>



Edición y diseño de imágenes en 2D

Programa: Adobe Substance 3D

<https://www.adobe.com/>



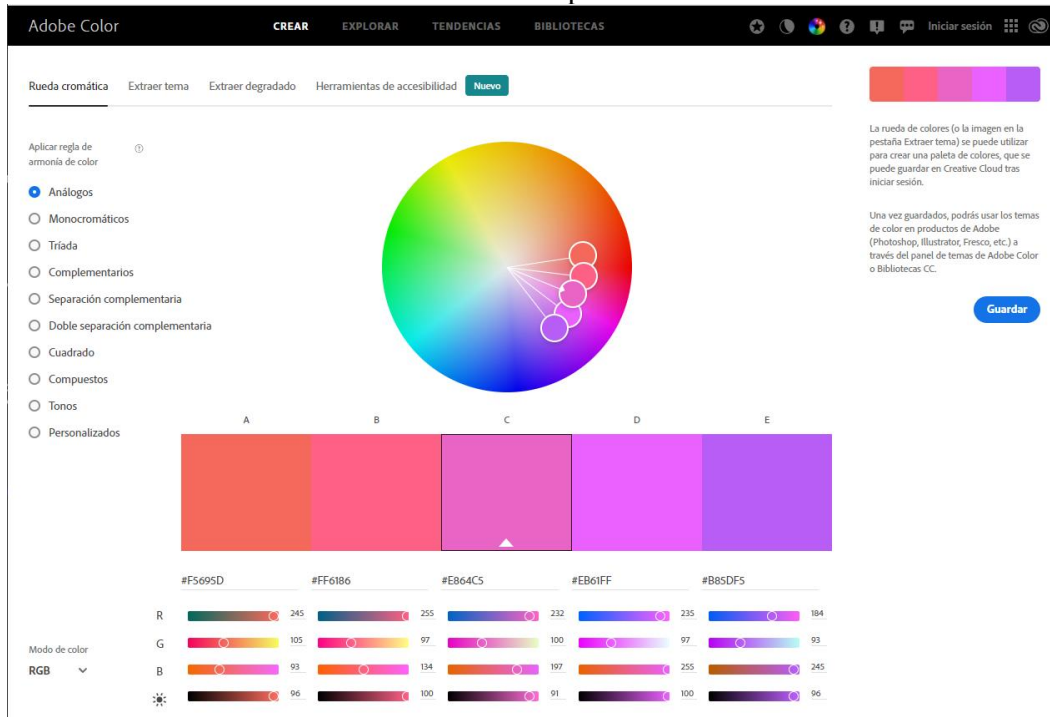
Edición de materiales 3D en escenarios virtuales.

EL METaverso EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Programa: Adobe Color

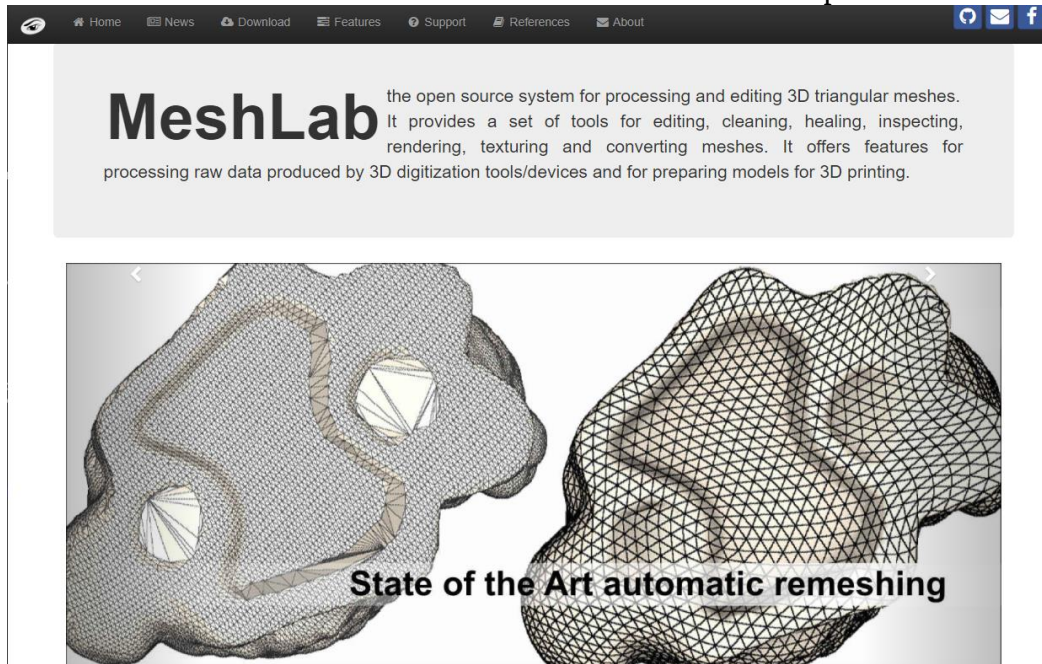
<https://color.adobe.com/es/create/color-wheel>



Programa de gestión de código y paletas de color.

Programa: MeshLab

<https://www.meshlab.net/>



Edición y re-topología de mallas poligonales 3D.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Programa: Visual SFM

<http://ccwu.me/vsfm/>

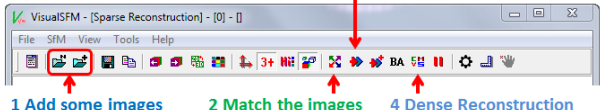
VisualSFM : A Visual Structure from Motion System
[Changchang Wu](#)

VisualSFM is a GUI application for 3D reconstruction using structure from motion (SfM). The reconstruction system integrates several of my previous projects: [SIFT on GPU \(SiftGPU\)](#), [Multicore Bundle Adjustment](#), and [Towards Linear-time Incremental Structure from Motion](#). VisualSFM runs fast by exploiting multicore parallelism for feature detection, feature matching, and bundle adjustment.

For dense reconstruction, this program integrates the execution of Yasutaka Furukawa's [PMVS/CMVS](#) tool chain. The SfM output of VisualSFM works with several additional tools, including [CMP-MVS](#) by Michal Jancosek, [MVE](#) by Michael Goesele's research group, [SURE](#) by Mathias Rothermel and Konrad Wenzel, and [MeshRecon](#) by Zhuoliang Kang.

Structure from Motion - A Visual Interface
Reconstruct 3D with a few button clicks, and [watch the dynamic reconstruction process!](#)

3 Sparse Reconstruction



1 Add some images 2 Match the images 3 Sparse Reconstruction 4 Dense Reconstruction

You still have the option to run from command line without a GUI!

```
>VisualSFM sfm+pmvs ./images ./result.nvm
```

Aplicación base para la restitución fotogramétrica.

Programa: xNormal

<https://xnormal.net/>



ENES

Q: What is xNormal™?

A: xNormal™ is a free app to bake texture maps (like normal maps and ambient occlusion).

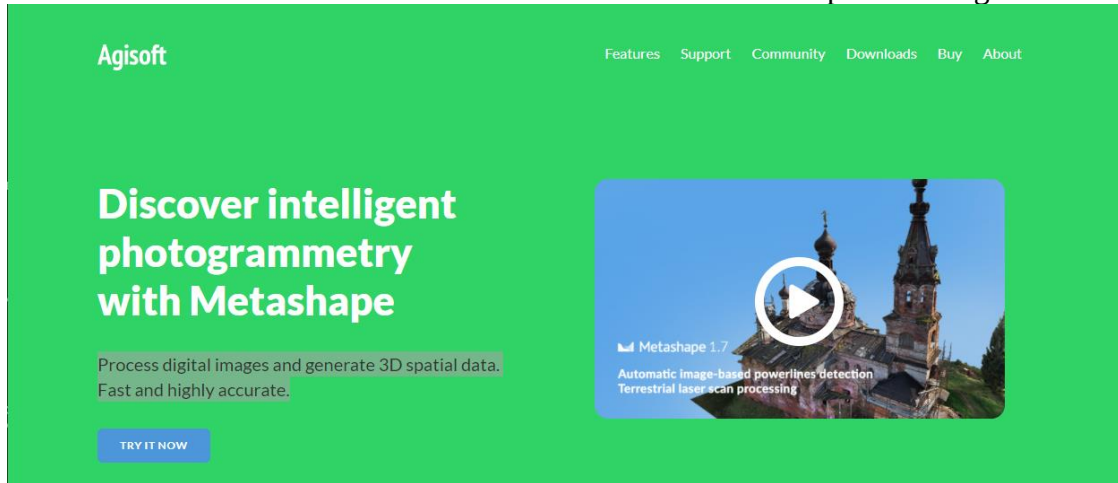
Programa para la proyección de texturas de modelos de alta resolución a baja resolución.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Programa: Agisoft Metashape

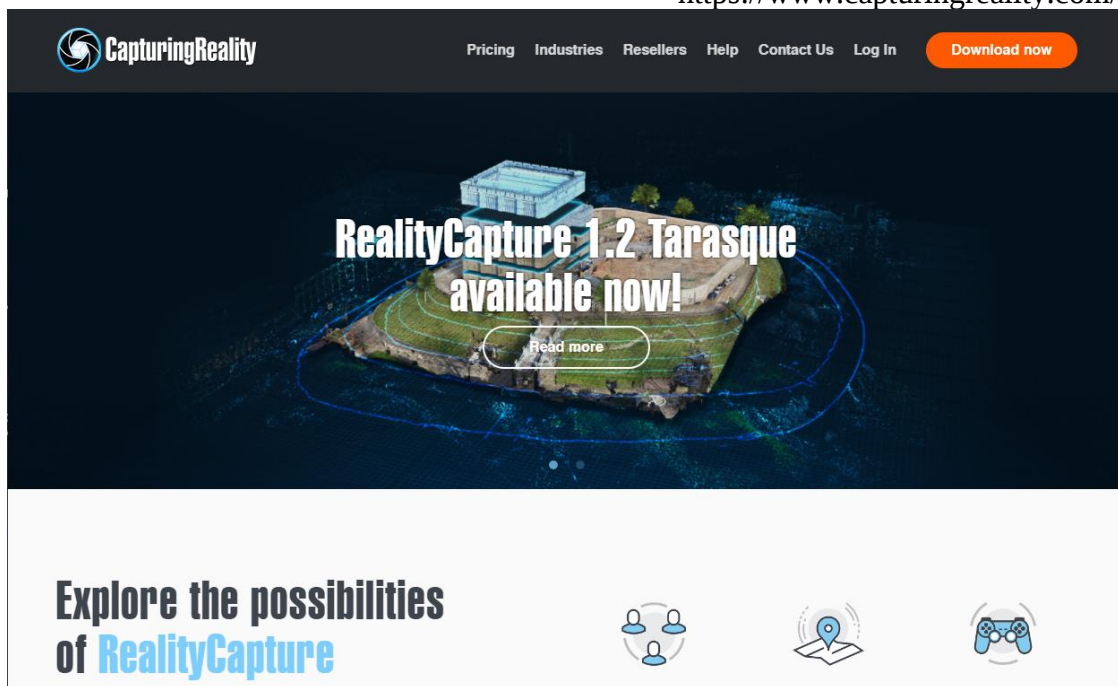
<https://www.agisoft.com/>



Programa para realizar procesos de restitución fotogramétrica.

Programa: Capturing Reality

<https://www.capturingreality.com/>



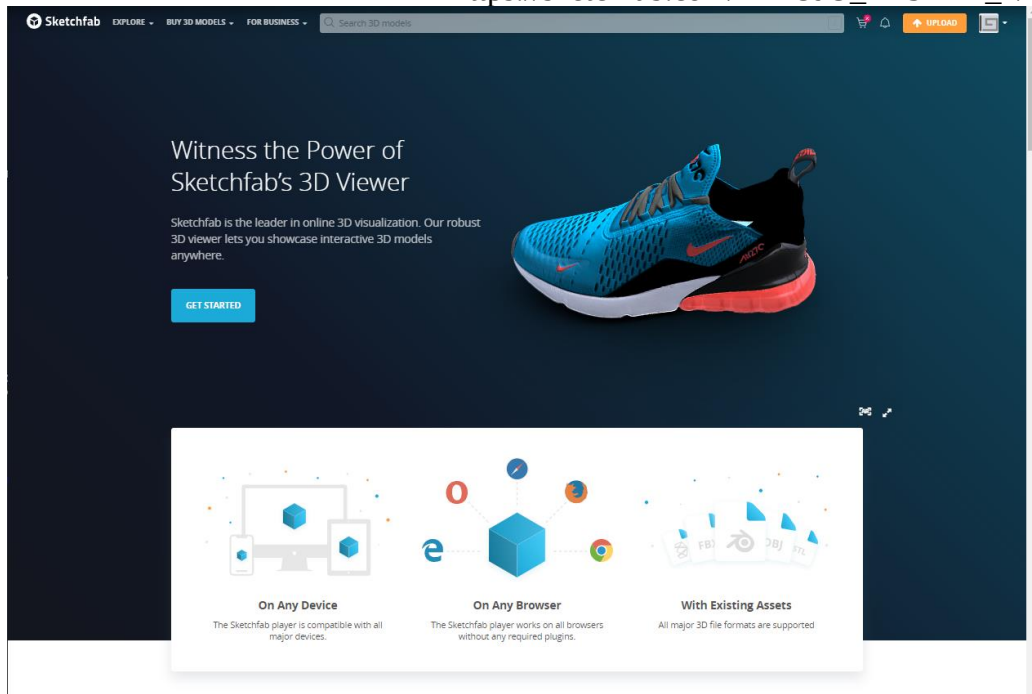
Programa para realizar procesos de restitución fotogramétrica.

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Programa: Skechfab

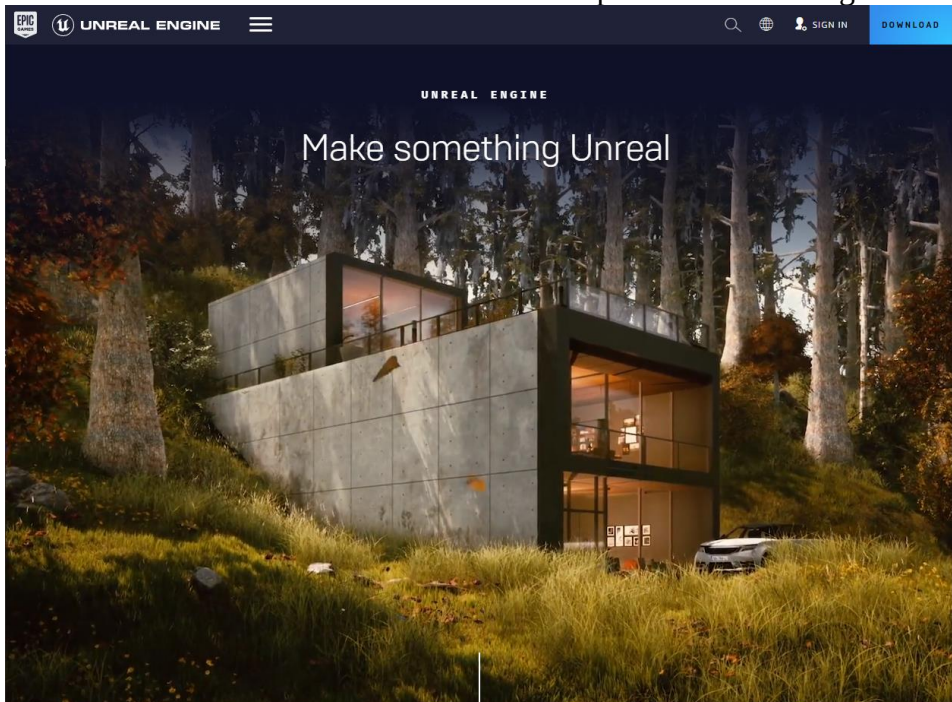
https://sketchfab.com/DIBUJO_ETSIAM_1/models



Recurso online de escenas en 3D. Facilita la visualización de los escenarios en RV y RA

Programa: Unreal Engine

<https://www.unrealengine.com/en-US/unreal>



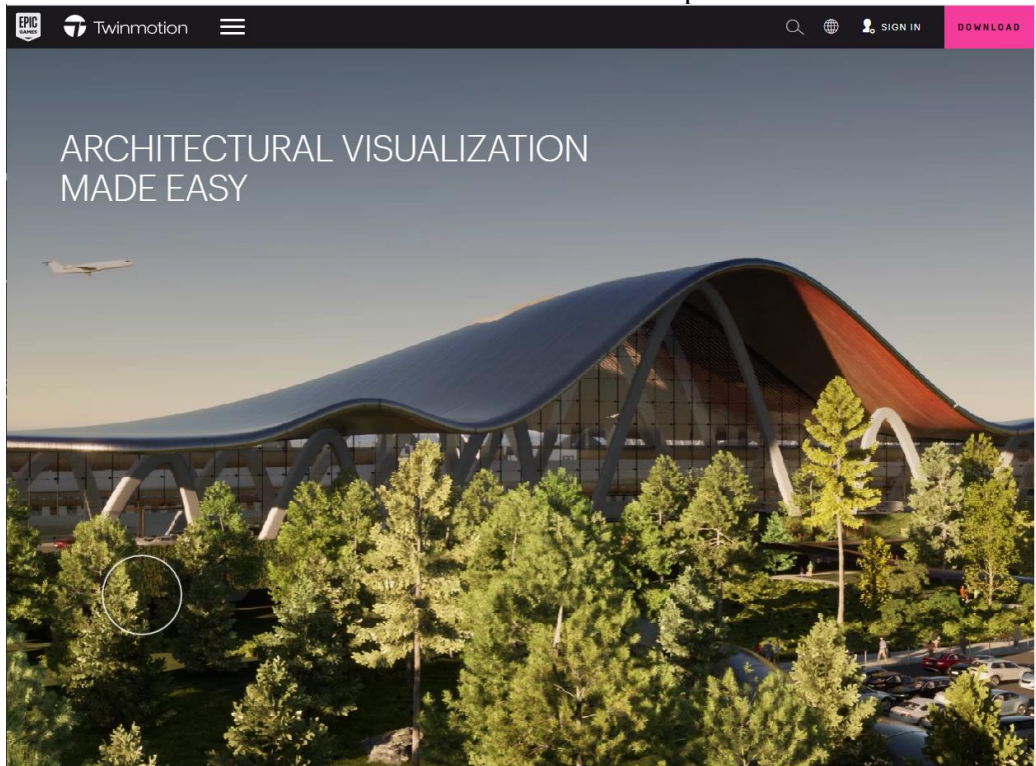
Programa de edición 3D complejo para la elaboración de los metaversos

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Programa: Unreal Twinmotion

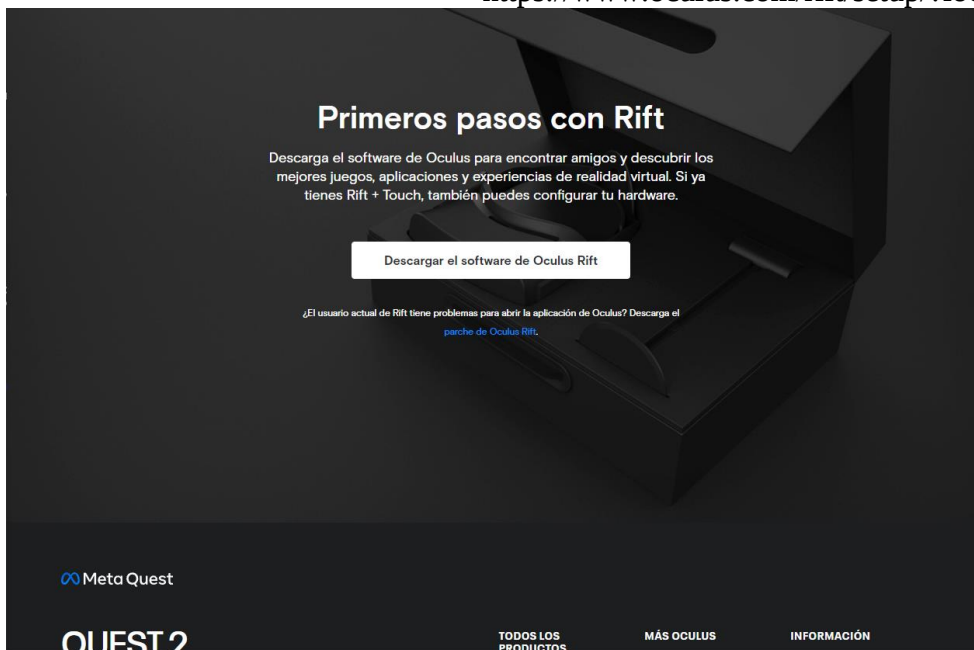
<https://www.twinmotion.com/en-US>



Aplicación complementaria a la anterior especialmente dedicada a la creación en RV

Programa: Oculus Rift S

https://www.oculus.com/rift/setup/?locale=es_ES



Programa para la configuración de dispositivos de Realidad Virtual

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Equipo de laboratorio

Cámara Nikon



Especificaciones técnicas

Tipo

Cámara digital réflex de objetivo único

Montura del objetivo

Montura F de Nikon (con contactos AF)

Ángulo de visión efectivo

Formato DX de Nikon; distancia focal equivalente a aprox. 1,5 veces la de los objetivos con ángulo de visión en formato FX

Sensor de imagen

DX, CMOS, 23,5 mm x 15,6 mm

Píxeles totales

24,78 millones

Sistema de reducción de polvo

Datos de referencia de eliminación de polvo de la imagen (se requiere el software Capture NX-D)

Píxeles efectivos

24,2 millones

Tamaño de imagen (píxeles)

(G) 6000 x 4000 (24,0 millones), (M) 4496 x 3000 (13,5 millones), (P) 2992 x 2000 (6,0 millones)

Almacenamiento – Formato de archivo

NEF (RAW): 12 bits, comprimido; JPEG: compatible con la línea de base JPEG con compresión buena (aprox. 1 : 4), normal (aprox. 1 : 8) o básica (aprox. 1 : 16); NEF (RAW) + JPEG: las fotografías individuales se graban en ambos formatos, NEF (RAW) y JPEG

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Funda de cámara



Bolso bandolera compatible con determinadas cámaras Nikon. Confeccionado en material resistente e hidrófugo.

- Material exterior: poliéster 600D hidrófugo
- Correa ajustable para el hombro y correa para enganchar a maleta tipo trolley

Objetivo Nikon



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Tripode Manfrotto Aluminium 3-Section Tripod with XPRO Ball Head



Peso
3 kg
Altura máxima
181.5 cm

Color Chequer



Equipo de iluminación con trípodes

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES



Base giratoria



Cinta métrica

EL METaverso EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES



Flexómetro



Calibre – pie de rey sin rueda 150mm



EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Gafas Oculus Quest



HARDWARE

Ordenador (opcional)

Un kit completo de realidad virtual avanzada: solo necesitas las gafas y los controladores (se necesita la aplicación para smartphones). O bien conéctate a un ordenador y accede a títulos de Rift con Oculus Link.

SEGUIMIENTO

Seis grados de libertad

Gracias a la tecnología 6DOF, estas gafas realizan un seguimiento de los movimientos tanto de la cabeza como del cuerpo y los integran en la realidad virtual con precisión realista. No se necesitan sensores externos.

CONTROLADORES

Controladores Touch rediseñados

Hemos mejorado la ergonomía de los controladores Touch para Quest 2. El nuevo apoyo para el pulgar te brindará una mayor estabilidad cuando lo necesites.

LENTES

Pantalla LCD de respuesta rápida

Resolución por ojo: 1832×1920

Frecuencia de actualización admitida: 60, 72, 90 Hz

Compatible con el uso de gafas

SONIDO

Audio posicional

Gafas Oculus Rift S

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE: LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES



HARDWARE

Se necesita un PC

Conecta un ordenador o portátil compatible con la realidad virtual para aprovechar el potencial de tu equipo y realizar la configuración de forma fácil e intuitiva. No se necesitan sensores externos.

SEGUIMIENTO

Seis grados de libertad

Gracias a la tecnología 6DOF, estas gafas realizan un seguimiento de los movimientos tanto de la cabeza como del cuerpo y los integran en la realidad virtual con precisión realista. No se necesitan sensores externos.

CONTROLADORES

Controladores Touch

Los controladores Oculus Touch recrean las interacciones y los gestos de las manos en la realidad virtual con precisión intuitiva.

LENTE

Pantalla LCD

Resolución: 2560 x 1440

Frecuencia de actualización: 80 Hz

Compatible con el uso de gafas

SONIDO

Audio posicional

EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

PC

Windows 10 Pro 64-bit

CPU

Intel Core i7 9700 @ 3.00GHz 36 °C
Coffee Lake 14nm Technology

RAM

16,0GB Single-Channel Unknown @ 1330MHz (19-19-19-43)

Motherboard

ASUSTeK COMPUTER INC. PRIME B360M-A (LGA1151) 23 °C

Graphics

LG ULTRAWIDE (2560x1080@60Hz)
8176MB ATI AMD Radeon RX 5700 (ASUSTek Computer Inc)

Storage

931GB Seagate ST1000DM010-2EP102 (SATA) 25 °C
447GB KINGSTON SA400S37480G (SATA-2 (SSD)) 21 °C

Tarjeta grafica dedicada

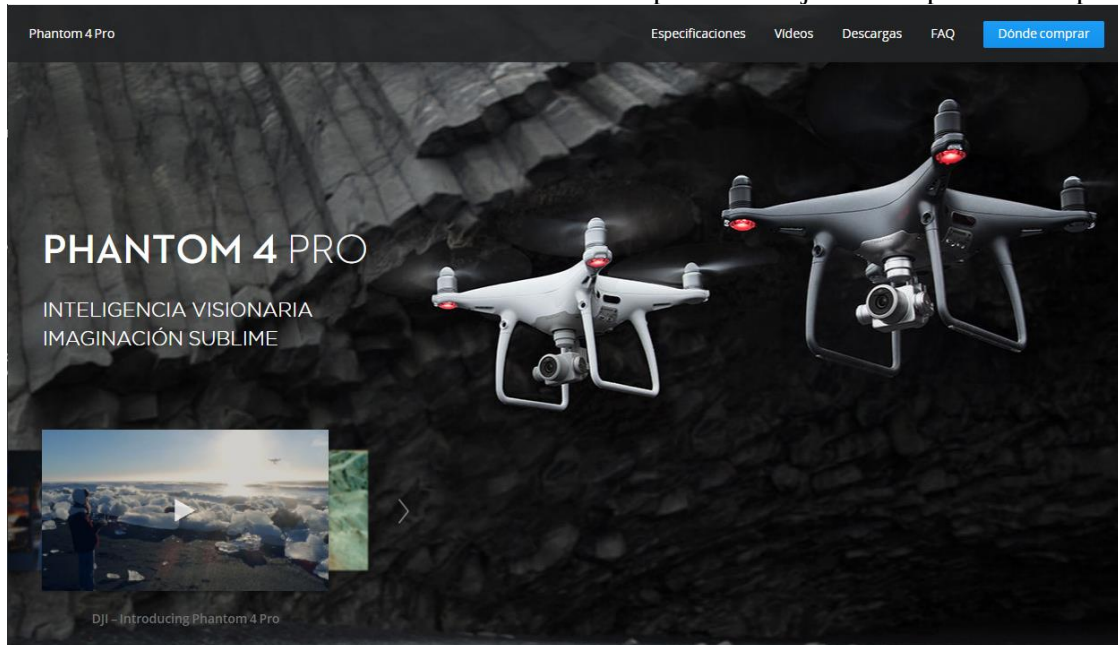


EL METAVERSO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:
LA INTERPRETACIÓN DE LA TORRE DEL HOMENAJE DEL CASTILLO DE MONTILLA

6. APÉNDICES

Drone fotográfico - DJI Phantom 4 pro con cámara de sensor de 20Mp

<https://www.dji.com/es/phantom-4-pro>



Aeronave

Peso (batería y hélices incluidas) 1 388 g

Tamaño diagonal (sin hélices) 350 mm

Estabilizador

Estabilización 3-ejes (cabeceo, alabeo, guiñada)

Intervalo controlable Inclinación: -90° a +30°

Velocidad angular máx. controlable Cabeceo: 90°/s

Precisión del control angular $\pm 0.02^\circ$